



TESIS TF092325

**ANALISA DAN
PREDIKSI EMISI GAS KARBON DIOKSIDA UNTUK
MENDUKUNG PENGEMBANGAN ENERGI
HIJAU DI KOTA SURABAYA**

JUNIARKO PRANANDA

2412201 016

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TEKNIK INSTRUMENTASI

JURUSAN TEKNIK FISIKA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2014



THESIS TF092325

THE ANALYSIS AND PREDICTION OF CARBON DIOXIDE EMISSION FOR GREEN ENERGY DEVELOPMENT IN SURABAYA MUNICIPALITY

JUNIARKO PRANANDA

2412201 016

SUPERVISOR

Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.

MAGISTERPROGRAM

STUDY OF ENGINEERING INSTRUMENTATION

DEPERTMENT OF ENGINEERING PHYSICS

FACULTY OF TECHNOLOGY INDUSTRY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2014

LEMBAR PENGESAHAN

Telah disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Juniarko Prananda
Nrp. 2412201016

Tanggal Ujian : 15 Juli 2014
Periode Wisuda : September 2014

Disetujui oleh :

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

NIP: 19761223 2005011 001

(Pembimbing I)

2. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.

NIP: 19771127 2002121 002

(Pembimbing II)

3. Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D

NIP: 19780902 200312 1 002

(Penguji)

4. Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc

NIP: 19600901 198701 1 001

(Penguji)

5. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, MSc

NIP: 19620822 198803 1 001

(Penguji)

6. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, ST, MT

NIP: 19740903 199802 2 001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.

NIP: 19640405 199002 1 001



ANALISA DAN PREDIKSI EMISI GAS KARBON DIOKSIDA UNTUK MENDUKUNG PENGEMBANGAN ENERGI HIJAU DI KOTA SURABAYA

Nama Mahasiswa : Juniarko Prananda
NRP : 2412201016
Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.

ABSTRAK

Surabaya merupakan kota metropolitan dan yang terbesar kedua di Indonesia. Hal ini menjadi daya tarik urbanisasi masyarakat dan investor untuk melakukan aktifitasnya di Surabaya. Fenomena ini berimbas pada peningkatan jumlah industri, alat transportasi, dan jumlah penduduk yang ada di Surabaya. Dampak dari perkembangan ini sangat berpengaruh pada kualitas udara karena emisi gas karbon yang dihasilkan. Sehingga penelitian ini dilakukan untuk menganalisa dan memprediksi tingkat emisi gas karbon dengan menggunakan metode *ARIMA*, *Grey Model*, dan *Kuznet Curve*. Dari ketiga metode prediksi tersebut didapatkan nilai error rata-rata terhadap nilai sebenarnya sebesar 71,72% untuk *ARIMA*, 6,81% untuk *Grey Model*, dan 4,81% untuk *Kuznet Curve*. Berdasarkan nilai korelasi yang didapatkan, korelasi variabel PDB sektor perdagangan, hotel, dan restoran sebesar 8,51%; nilai korelasi rata-rata untuk variabel PDB sektor pengolahan yakni sebesar 12,43%; nilai korelasi PDB sektor pengangkutan dan komunikasi sebesar 12,03%; korelasi variabel LPG sebesar 7,29%; dan nilai korelasi variabel kendaraan roda dua sebesar 7,36% terhadap nilai prediksi emisi.

Kata kunci: Karbondioksida, Emisi, Prediksi.

THE ANALYSIS AND PREDICTION OF CARBON DIOXIDE EMMISSION FOR GREEN ENERGY DEVELOPMENT IN SURABAYA MUNICIPALITY

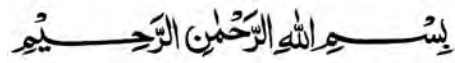
Student : Juniarko Prananda
Student Identity Number : 2412201016
Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T.

ABSTRACT

Surabaya is a metropolitan city and the second largest in Indonesia. This is the main attraction of urbanization and the investors to conduct its activities in Surabaya. This phenomenon is affected to increase the number of industry, transportation, and population in Surabaya. The impact of this is very influential in the air quality due to carbon emission was produced. This research needs to be done to determine the level of carbon emission using ARIMA method, Grey Model method, and Environmental Kuznet Curve method. The three methods of the prediction obtained the average error value of ARIMA is 71,72 %; 6,81 % for grey model, and 4.81 % for EKC. Based on the correlation value was obtained, the correlation variable of GDP Trade, Hotel, and Restaurant sectors was 8,51%; the average correlation values for the GDP Processing sector was 12.43%; the correlation value of GDP transport and communications sector was 12.03%; LPG variable correlation was 7.29%; and the correlation value of motor cycles at 7.36% of the predicted value of Carbon Dioxide emissions.

Keywords : Carbon Dioxide, Emission, Prediction.

KATA PENGANTAR



Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya Thesis beserta Laporan Thesis yang berjudul “Analisa dan Prediksi Emisi Gas Karbon Dioksida Untuk Mendukung Pengembangan Energi Hijau Di Kota Surabaya”.

Penelitian ini menyajikan proses prediksi mengenai nilai emisi gas karbon dioksida yang dihasilkan dari sektor rumah tangga, sektor transportasi, dan sektor industri. Kemudian berdasarkan hasil yang didapatkan dari proses prediksi, dibuatlah model matematis dari emisi gas karbon dioksida di kota Surabaya. Buku ini tersusun dari 5 bab.

Bab I merupakan bagian pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian ini. Bab II menjelaskan mengenai berbagai teori penunjang yang terkait dengan penelitian ini. Bab III menjelaskan mengenai metodologi penelitian berupa alur pengerjaan. Bab IV adalah analisa dari hasil prediksi emisi gas karbon dioksida dan hasil pemodelan matematis dari emisi karbon dioksida yang terbentuk di kota Surabaya. Bab V berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari penelitian ini.

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian Penelitian Thesis dan penyusunan buku Laporan Thesis ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmad serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Thesis dan Laporan Thesis ini dengan baik dan lancar.
2. Kedua orang tua (Nito Joko dan Arifah) serta adik tercinta Indriazahra Dwi Ananda. Terimakasih atas kasih sayang, doa, perhatian, pengertian serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.

3. Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Gunawan Nugroho, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan yang sangat bermanfaat selama proses pengerjaan Thesis ini.
4. Ibu Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, ST, MT selaku dosen wali yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan S-2 di Teknik Fisika.
5. Ibu Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT selaku Kepala Prodi S-2 Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta kemudahan perizinan.
6. Sahabat-sahabat “Epicentrum” (Angkatan S-2 Teknik Fisika Angkatan 2012). Terimakasih atas segala doa, perhatian, serta semangat yang telah diberikan.
7. Seluruh teman dan sahabat yang selalu memberi dukungan, khususnya teman-teman Teknik Fisika angkatan 2008 (F-43), terima kasih untuk semuanya.
8. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Selain itu juga semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan Tugas Akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, Agustus 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 DASAR TEORI	5
2.1 Pencemaran Udara	5
2.2 Gas Rumah Kaca	5
2.3 Siklus Karbon	6
2.4 Model Perhitungan Emisi Gas Karbon Dioksida	7
2.5 Metode Prediksi Emisi Gas Karbon Dioksida	8
2.5.1 <i>Auto-regressive Moving Average</i>	8
2.5.2 <i>Environmental Kuznet Curve</i>	11
2.5.3 <i>Grey Model</i>	12
2.6 Ruang Terbuka Hijau	13
2.6.1 Taman Kota	14
2.6.2 Taman Wisata Alam	14
2.6.3 Taman Rekreasi	15
2.6.4 Taman Lingkungan Perumahan dan Permukiman	15
2.6.5 Taman Lingkungan Perkantoran dan Gedung Komersial	15

2.6.6 Taman Hutan Raya.....	15
2.6.7 Hutan Kota	16
2.6.8 Kebun Binatang.....	16
2.6.9 Pemakaman Umum	16
2.6.10 Lapangan Olahraga	17
2.6.11 Parkir Terbuka.....	17
2.6.12 Jalur Dibawah Tegangan Tinggi (SUTT dan SUTET)	17
2.6.13 Sempadan Sungai, Pantai, Bangunan, Situ, dan Rawa	17
2.6.14 Jalur Pengaman Jalan, Median Jalan, Rel Kereta Api, Pipa Gas, dan Pedestrian	18
2.6.15 Taman Atap.....	18
2.7 Produk Domestik Bruto (PDB).....	19
BAB 3METODA PENELITIAN.....	21
3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.2 Identifikasi Sumber Emisi	22
3.3 Metode Simulasi Prediksi Emisi.....	22
3.3.1 <i>Auto-regressive Moving Average (ARIMA)</i>	22
3.3.2 <i>Grey Model</i>	24
3.3.3 <i>Environmental Kuznet Curve</i>	25
3.4 Evaluasi Hasil Prediksi	25
3.5 Pemodelan Matematis.....	26
3.6 Kesimpulan	26
BAB 4HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Data dan Perhitungan.....	27
4.1.1 <i>Autoregressive Moving Average (ARIMA)</i>	29
4.1.2 <i>Grey Model</i>	31
4.1.3 <i>Environmental Kuznet Curve (EKC)</i>	32
4.2 Pembahasan.....	33
BAB 5	53
KESIMPULAN	53
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 4.1	Pertumbuhan Emisi di Surabaya	27
Gambar 4.2	Grafik Pertumbuhan PDB kota Surabaya	29
Gambar 4.3	Nilai Prediksi Emisi Menggunakan ARIMA (1,0,1)	30
Gambar 4.4	Nilai Prediksi Emisi Menggunakan Metode <i>Grey Model</i>	32
Gambar 4.5	Nilai Prediksi Emisi Menggunakan Metode <i>Environmental Kuznet Curve</i>	33
Gambar 4.6	Besar Sumbangan PDB tiap sektor	34
Gambar 4.7	Besar Sumbangan Emisi tiap sektor.....	36
Gambar 4.8	Korelasi PDB sektor pengolahan	39
Gambar 4.9	Korelasi PDB sektor perdagangan, hotel, dan restoran	41
Gambar 4.10	Korelasi PDB sektor pengangkutan dan komunikasi	43
Gambar 4.11	Korelasi variabel LPG	45
Gambar 4.12	Korelasi variabel kendaraan roda dua	47
Gambar 4.13	Besar penyerapan RTH tiap tahun	49
Gambar 4.14	Proyeksi penyerapan emisi oleh RTH Surabaya	50
Gambar 4.15	Proyeksi penyerapan emisi oleh RTH dan pengurangan MRT	50

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Perbandingan Pertumbuhan Ekonomi kota Surabaya	28
Tabel 4.2	Tabel Pertumbuhan RTH kota Surabaya	48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim dewasa ini menjadi sebuah topik yang sedang hangat untuk dibicarakan di beberapa dekade terakhir ini (Kyoto Protocol Mechanism. 2010). Gas rumah kaca adalah gas-gas yang dapat menjadi penyebab dari perubahan iklim yang mana gas-gas tersebut bukan hanya dapat dihasilkan dari faktor alam saja seperti berasal dari letusan gunung berapi dan sebagainya, namun gas rumah kaca juga berasal dari hasil kegiatan manusia. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat dinyatakan bahwa kegiatan manusia yang berkontribusi dalam mempercepat tingkat kenaikan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Penambahan dan peningkatan kuantitas konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer bumi tersebut dapat menyebabkan panas pada permukaan bumi menjadi lebih tinggi karena terselubungi oleh gas rumah kaca tersebut di atmosfer. Kelebihan panas yang terperangkap inilah yang kemudian dapat menyebabkan temperatur bumi meningkat secara signifikan. Bahkan dalam sebuah kajian dinyatakan bahwa gaya hidup manusia di bumi, juga memiliki kontribusi yang sangat signifikan pada proses pemanasan global (IESR, 2011).

Namun, hingga saat ini, mayoritas kajian yang telah dilakukan hanya berkisar pada kegiatan pengurangan gas rumah kaca dari sumber (mitigasi) perubahan iklim lebih terarah pada kegiatan-kegiatan yang menghasilkan emisi gas rumah kaca pada sumber yang hanya menghasilkan puluhan ribu ton karbon dioksida-ekivalen, dengan kata lain, hanya dilakukan perhitungan dan penelitian pada skala industri. Padahal, seperti yang sudah dijelaskan pada hasil penelitian dari IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) bahwa pola hidup masyarakat akan menentukan jumlah barang yang dikonsumsi, seperti jumlah kertas yang digunakan, jumlah listrik yang digunakan serta alat transportasi yang di tumpangi juga menjadi faktor penting dalam perhitungan emisi gas karbon tersebut. Faktanya, semakin tinggi tingkat ekonomi seseorang, semakin tinggi pula tingkat konsumsi seseorang, maka akan berdampak pada semakin meningkatkan kebutuhan energi terutama pada barang-barang yang untuk

operasionalnya yang memerlukan energi listrik pada saat penggunaannya, dan juga pada saat pembuatan barang-barang itu sendiri yang juga berkontribusi dalam penyumbang emisi gas karbon (Ni, 2011). Semakin tinggi kebutuhannya, maka ketersediaan energi Indonesia juga akan semakin berkurang. Belum lagi untuk produksi listrik, seperti di Indonesia yang masih didominasi oleh pembangkit bertenaga bahan bakar fosil seperti diesel dan batu bara yang pastinya akan menghasilkan emisi karbondioksida. Itu sebabnya, gaya hidup berkontribusi pada emisi gas rumah kaca yang dihasilkan tiap individu (Liu, 2011).

Kota Surabaya merupakan Kota Metropolitan di Indonesia sekaligus kota terbesar kedua yang sangat strategis dan juga sebagai pusat pemerintahan, perdagangan, industri, bisnis, pendidikan serta pariwisata. Berdasarkan faktor-faktor tersebut, maka kota Surabaya memiliki daya tarik tersendiri bagi masyarakat kota-kota sekitar. Hal tersebut dapat menimbulkan arus urbanisasi semakin tinggi dan akhirnya juga berdampak pada kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat akan sektor transportasi. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk maka juga berdampak pada peningkatan kebutuhan masyarakat pada aktivitas transportasi. Ekonomi kota yang tumbuh dengan ditandai peningkatan laju urbanisasi yang tinggi telah mendorong permintaan kebutuhan energi yang semakin meningkat sehingga pada akhirnya hal tersebut menyebabkan bertambahnya sisa hasil penggunaan energi dari aktifitas transportasi (Arini, 2011). Aktivitas transportasi, industri, jasa, dan kegiatan lainnya yang meningkat, mengakibatkan buangan sisa energi dari kegiatan-kegiatan tersebut ke udara semakin meningkat pula kuantitasnya terutama dari kendaraan bermotor yang merupakan sumber utama pencemaran udara di daerah perkotaan (Pradana, 2011).

Selain itu, sektor industri juga ikut mengambil peran yang besar sebagai sumber penyumbang emisi gas karbondioksida tersebut diperkotaan khususnya di Surabaya (Setiawan, 2010). Sehingga dalam hal pengurangan emisi gas karbon di Surabaya tidak dapat ditinjau secara parsial namun harus diperhitungkan secara keseluruhan baik emisi yang berasal dari rumah tangga, alat transportasi, dan sektor Industri (Hantoro, 2012). Laju penekanan tingkat emisi tersebut juga perludiperhatikan, salah satunya adalah seberapa luas ruang terbuka hijau di

Surabaya yang mampu mengurangi emisinya tersebut (Adiastri, 2010). Peningkatan emisi gas karbondioksida pada kota Surabaya yang tinggi inilah yang mendasari dilakukannya penelitian ini untuk didapatkan jumlah atau tingkat emisi gas karbon dari faktor-faktor yang sudah diutarakan diatas dan juga melakukan perhitungan untuk memprediksi peningkatan produksi emisi gas karbondioksida pada masa yang akan datang berdasarkan rasio peningkatan dan pertumbuhan jumlah penduduk, kendaraan bermotor, serta sektor perindustrian di Surabaya. Sehingga diharapkan dari penelitian ini, berdasarkan hasil perhitungan dan prediksi tersebut mampu memberikan landasan dalam melakukan strategi kegiatan untuk mengurangi jumlah emisi gas karbondioksida tersebut di Surabaya pada khususnya.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang muncul pada penyelesaian penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan jumlah emisi gas karbondioksida dari sektor penduduk, alat transportasi, dan sektor perindustrian di kota Surabaya.
2. Bagaimana mendapatkan model prediksi dari emisi gas karbon di Surabaya.
3. Bagaimana analisa hasil prediksi dan analisa strategi yang mungkin dilakukan dalam upaya pengurangan emisi gas karbondioksida tersebut di Surabaya.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan hanya data yang berasal dari kota Surabaya.
2. Emisi Karbon dari kota – kota penyangga kota Surabaya tidak diperhitungkan.
3. Emisi Karbon dari hasil pembangkitan listrik dari wilayah diluar kota Surabaya diasumsikan tidak memiliki dampak pada Surabaya sebab emisinya berada diluar kota Surabaya.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui jumlah emisi gas karbondioksida di kota Surabaya dari sektor penduduk, transportasi, dan industri.
2. Mendapatkan model prediksi dari tingkat emisi gas karbondioksida di Surabaya.
3. Memberikan analisa hasil prediksi dan analisa strategi yang mungkin dilakukan dalam upaya pengurangan emisi gas karbondioksida tersebut di Surabaya.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan suatu kontribusi keilmuan pada masyarakat dan atau kepada pemerintah kota Surabaya terkait prediksi emisi gas karbon yang mungkin terjadi pada tahun tahun mendatang agar dapat menjadi acuan untuk menerapkan suatu kebijakan terkait emisi gas karbon tersebut. Selain itu, hasil prediksi dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan model matematis untuk emisi karbon dioksida yang mampu diterapkan disemua wilayah Indonesia sebagai sistem prediksi serta sebagai acuan penerapan strategi yang akan dilakukan pada wilayah tersebut.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Pencemaran Udara

Berdasarkan PP No. 41 Tahun 1999, pencemaran udara diartikan sebagai masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Saat ini pencemaran udara merupakan salah satu permasalahan utama yang sering terjadi di kota-kota besar. Alasan utama dari permasalahan ini adalah pertumbuhan penduduk yang dikombinasikan dengan perubahan fungsi lahan.

Berbagai aktifitas yang menjadi sumber pencemar udara di kawasan perkotaan adalah kegiatan transportasi, industri dan rumah tangga. Berbagai bahan pencemar yang diemisikan akan menyebar dan bercampur di atmosfer. Pencemaran yang dihasilkan dari setiap sumber akan tersebar di atmosfer melalui proses difusi, dispersi, dan transformasi kimiawi. Bahan pencemar yang diemisikan dari berbagai sumber pencemar akan mengalami transmisi di atmosfer, dimana pada proses ini polutan akan menyebar, bercampur ataupun mengalami perubahan secara kimia (IESR, 2011).

2.2 Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca adalah gas-gas di atmosfer yang dapat menyebabkan terjadinya efek rumah kaca. Gas rumah kaca ini sudah ada sejak terbentuknya bumi. Gas ini terbentuk di permukaan bumi melalui proses alami seperti gunung meletus dan juga akibat adanya kegiatan manusia dari hasil pembakaran bahan bakar fosil dan dampak pembakaran hutan, minyak, gas, batubara dan juga pembakaran hutan. Gas-gas rumah kaca yang dapat menyebabkan efek rumah kaca adalah uap air, CO₂, CH₄, CFC, O₃ dan N₂O (Xiaoqing, 2010).

Meningkatnya gas rumah kaca di atmosfer akan menahan lebih banyak radiasi matahari melebihi radiasi yang dibutuhkan bumi sehingga akan terjadi peningkatan suhu permukaan bumi. Efek rumah kaca adalah proses masuknya radiasi matahari ke permukaan bumi dan terperangkapnya radiasi tersebut di

dalam atmosfer akibat adanya gas rumah kaca sehingga suhu bumi menjadi naik. Proses terjadinya efek rumah kaca disebabkan karena naiknya konsentrasi gas CO₂ dan gas rumah kaca lain di atmosfer.

Pada proses efek rumah kaca, energi yang masuk ke bumi sebanyak 25% akan dipantulkan oleh awan atau partikel lain di atmosfer, 25% diserap awan, 45% diadsorpsi permukaan bumi dan 5% dipantulkan kembali oleh permukaan bumi (Xinwu, 2012). Pada dasarnya, efek rumah kaca dibutuhkan untuk menjaga suhu bumi. Tanpa adanya efek rumah kaca, suhu permukaan bumi akan menjadi terlalu dingin sehingga tidak bisa ditinggali oleh makhluk hidup. Hal ini disebabkan tidak adanya lapisan yang mengisolasi panas matahari (Hantoro, 2012). Tetapi, semakin meningkatnya gas rumah kaca di atmosfer akan menahan lebih banyak radiasi matahari melebihi radiasi yang dibutuhkan bumi sehingga akan terjadi peningkatan suhu permukaan bumi dan mengakibatkan terjadinya pemanasan global (*global warming*).

2.3 Siklus Karbon

Karbon yang berada di atmosfer bumi bagian terbesarnya adalah gas karbon dioksida (CO₂). Meskipun jumlah gas ini merupakan bagian yang sangat kecil dari seluruh gas yang ada di atmosfer (hanya sekitar 0.04% dalam basis molar, meskipun sedang mengalami kenaikan), namun memiliki peran yang penting dalam menyokong kehidupan (Jianpeng, 2011). Gas-gas lain yang mengandung karbon di atmosfer adalah metan dan kloroflorokarbon atau CFC. Gas-gas tersebut adalah gas rumah kaca yang konsentrasinya di atmosfer telah bertambah dalam dekade terakhir ini dan berperan dalam pemanasan global.

Siklus karbon di dalam biosfer meliputi dua bagian siklus penting, di darat dan di laut. Keduanya dihubungkan oleh atmosfer yang berfungsi sebagai fase antara. Siklus karbon mempunyai empat reservoir karbon utama yang dihubungkan oleh jalur pertukaran. Reservoir-reservoir tersebut adalah atmosfer, biosfer terestial (biasanya termasuk pula freshwater system dan material nonhayati organik seperti karbon tanah (*soil carbon*), lautan (termasuk karbon anorganik terlarut dan biota laut hayati dan non-hayati), dan sedimen (termasuk bahan bakar fosil) (Kyoto Protocol, 2008).

2.4 Model Perhitungan Emisi Gas Karbon Dioksida

Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari berbagai kegiatan industri berhubungan dengan energi. Selama proses ini, banyak gas rumah kaca yang berbeda dihasilkan seperti CO₂, CH₄, N₂O, dan PFC. Sebagian dari gas buang atau emisi yang dikeluarkan adalah beracun, dan sebagian besar berupa gas rumah kaca yang mengakibatkan pemanasan global. Untuk menghitung besarnya emisi CO₂ primer menggunakan metodologi yang distandarisasi UNFCCC yaitu A/R Methodological Tools tentang penghitungan emisi gas rumah kaca. Rumus yang digunakan dalam perhitungan ini merupakan jenis langsung yang karena pemakaian bahan bakarnya ditentukan dan digunakan pada kendaraan yang beroperasi di lingkungan industri. Berikut ini adalah rumus yang digunakan oleh IPCC dan UNFCCC:

$$\text{Emisi CO}_2 = \Sigma \text{FC} \times \text{CEF} \times \text{NCV} \quad (2.1)$$

Dengan Emisi CO₂ merupakan emisi CO₂ dengan satuan massa, ΣFC adalah jumlah bahan bakar fosil yang digunakan (massa/volume), NCV merupakan nilai *Net Calorific Volume (energy content)* tiap unit massa atau volume bahan bakar (TJ/ton fuel), dan CEF adalah *Carbon Emission Factor* (ton CO₂/TJ).

Untuk pencarian emisi karbon sekunder yang dapat didayagunakan dalam rangka program *Clean Development Mechanism* (CDM) yang direkomendasikan oleh UNFCCC, langkah yang pertama kali dilakukan adalah menetapkan emisi faktor yang akan digunakan dalam perhitungan untuk *Carbon Footprint* sekunder. Pencarian nilai emisi faktor *Carbon Footprint* sekunder didasarkan atas pemakaian listrik maka digunakan faktoremis seperti yang ada pada metode ACM 0002 atas dasar penyediaan listrik oleh pembangkit listrik. Kemudian emisi faktor listrik yang diperoleh digunakan sebagai faktor pengali untuk menghitung jumlah emisi CO₂ sekunder yang berasal dari konsumsi listrik. Berikut ini adalah rumus – rumus yang digunakan untuk menghitung emisi faktor yang telah dipublikasi oleh IPCC dan/atau UNFCCC:

$$\text{EF} = \frac{\Sigma \text{fuel.COEf}}{\Sigma \text{GEN}} \quad (2.2)$$

Dimana Σfuel merupakan konsumsi bahan bakar pada pembangkit listrik dalam menghasilkan listrik (satuan massa/volume), ΣGEN merupakan energi listrik

yang dihasilkan dari pembangkit listrik (MWh), dan EF merupakan emisi faktor CO₂ konsumsi listrik (satuan massa/MWh). Sedangkan metode perhitungan untuk mendapatkan nilai COEF dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{COEF} = \text{NCV} \times \text{CEF} \times \text{OXID} \times \frac{44}{12} \quad (2.3)$$

Dengan COEF merupakan koefisien CO₂ dari penggunaan bahan bakar, NCV merupakan nilai *Net Calorific Volume(energy content)* per unit massa atau volume bahan bakar (TJ/ton fuel), CEF adalah Carbon Emission Factor (ton CO₂/TJ), dan Oxid merupakan Oxidation Factor. Dikarenakan $\text{EF} = \frac{\sum \text{fuel}}{\sum \text{GEN}} = \text{SFC}$ atau *Specific Fuel Consumption* yang merupakan data spesifik konsumsi bahan bakar. Maka persamaan faktor emisinya menjadi :

$$\text{EF} = \text{SFC} \times \text{NCV} \times \text{CEF} \times \text{OXID} \times \frac{44}{12} \quad (2.4)$$

Emisi faktor yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung besarnya emisi CO₂. Sebagai sumber data adalah data konsumsi listrik oleh industri dengan menggunakan rumus:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{EF} \times \text{Konsumsi Listrik} \quad (2.5)$$

2.5 Metode Prediksi Emisi Gas Karbon Dioksida

Setelah dilakukan proses perhitungan dengan menggunakan metode IPCC, maka proses selanjutnya pada penelitian ini ada melakukan simulasi prediksi terhadap data nilai emisi karbon di Surabaya dengan menggunakan tiga macam metode simulasi yakni menggunakan metode *ARIMA*, metode *Kuznet Curve*, dan Metode *Grey Model* dengan penjelasan teori masing – masing model tersebut sebagai berikut.

2.5.1 Auto-regressive Moving Average

Metode *ARIMA* menggunakan pendekatan iteratif dalam mengidentifikasi suatu model yang paling tepat dari berbagai model yang ada. Model sementara yang telah dipilih diuji lagi dengan data historis untuk melihat apakah model sementara yang terbentuk tersebut sudah memadai atau belum. Model sudah dianggap memadai apabila residual (selisih hasil peramalan dengan data historis) terdistribusi secara acak, kecil dan independen satu sama lain. Langkah-langkah

penerapan metode *ARIMA* secara berturut-turut adalah : identifikasi model, estimasi parameter model, *diagnostic checking*, dan peramalan (*forecasting*).

ARIMA hanya dapat diterapkan untuk deret waktu yang stasioner. Oleh karena itu, pertama kali yang harus dilakukan adalah menyelidiki apakah data yang kita gunakan sudah stasioner atau belum. Jika data tidak stasioner, yang perlu dilakukan adalah memeriksa pada pembedaan beberapa data akan stasioner, yaitu menentukan berapa nilai *d*. Proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan koefisien ACF (*Auto Correlation Function*), atau uji akar-akar unit (*unit roots test*) dan derajat integrasi. Jika data sudah stasioner sehingga tidak dilakukan pembedaan terhadap data runtun waktu maka *d* diberi nilai 0.

Disamping menentukan *d*, pada tahap ini juga ditentukan berapa jumlah nilai lag residual (*q*) dan nilai lag dependen (*p*) yang digunakan dalam model. Alat utama yang digunakan untuk mengidentifikasi *q* dan *p* adalah ACF dan PACF (*Partial Auto Correlation Funtion* / Koefisien Autokorelasi Parsial), dan correlogram yang menunjukkan plot nilai ACF dan PACF terhadap lag.

2.5.1.1 *Auto-regressive*

$$Y_t = \theta_0 + \theta_1 Y_{t-1} + \theta_2 Y_{t-2} + \dots \theta_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.6)$$

dimana :

Y_t = Variabel dependen (*net income*)

$Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-p}$ = Variabel independen (variabel dengan *lag* tertentu)

$\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_p$ = Koefisien regresi

ε_t = *error*.

Jumlah koefisien regresi tersebut sering ditulis “*p*”. Banyaknya nilai lampau yang digunakan (*p*) pada model AR menunjukkan tingkat dari model ini. Jika hanya digunakan sebuah nilai lampau, dinamakan model autoregressive tingkat satu dan dilambangkan dengan AR (1). Agar model ini stasioner, jumlah koefisien model autoregressive harus selalu kurang dari 1. Ini merupakan syarat perlu, bukan cukup, sebab masih diperlukan syarat lain untuk menjamin stationarity.

2.5.1.2 differencing

Sebagai syarat untuk melakukan analisis dengan *ARIMA* adalah bahwa runtut waktu data yang ada adalah stasioner (suatu keadaan yang linier dan *variance*-nya tidak berubah). Oleh karena itu, apabila data yang ada *nonstationary*, maka data tersebut perlu diubah dengan melakukan *differencing* diantara data yang ada tersebut.

Y'_t = satu rentetan data baru

Y_t = satu rentetan data awal

Y_{t-1} = satu rentetan data awal *lag* 1

Jika dengan melakukan *differencing* pertama, data belum menunjukkan stasioner, maka dilakukan *differencing* kedua dengan rumus sebagai berikut:

$$Y''_t = Y'_t - Y'_{t-1} \quad (2.7)$$

dimana :

Y''_t = satu rentetan data dengan *differencing* kedua

Y'_{t-1} = satu rentetan data baru dengan *lag* 1

Biasanya hal ini maksimal terjadi hanya sampai “*second order differencing*” dan jumlah tingkat *differencing* tersebut ditulis dengan “d”.

2.5.1.3 Moving Average

$$Y_t = W_0 + \varepsilon_{t1} - W_1\varepsilon_{t-1} - W_2\varepsilon_{t-1} + W_q\varepsilon_{t-q} \quad (2.8)$$

dimana,

Y_t = Varibel dependen

W_1, W_1, W_q = koefisien

ε_t = error

$\varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \varepsilon_{t-q}$ = nilai error lag 1,2, dst.

Terlihat bahwa Y_t merupakan rata-rata tertimbang kesalahan sebanyak n periode ke belakang. Banyaknya kesalahan yang digunakan pada persamaan ini (q) menandai tingkat dari model moving average. Jika pada model itu digunakan dua kesalahan masa lalu, maka dinamakan model average tingkat 2 dan dilambangkan sebagai MA (2). Hampir setiap model exponential smoothing pada prinsipnya ekuivalen dengan suatu model ini. Model MA meramalkan nilai Y_t

berdasarkan kombinasi kesalahan linier masa lampau (lag), sedangkan model AR menunjukkan Y_t sebagai fungsi linier dari sejumlah nilai Y_t aktual sebelumnya. Biasanya koefisien (parameters) pada model ini dilambangkan dengan “q”.

2.5.1.4 Integrasi *ARIMA*

Seringkali proses random stasioner tak dapat dengan baik dijelaskan oleh model *moving average* saja atau *autoregressive* saja, karena proses itu mengandung keduanya. Karena itu, gabungan kedua model, yang dinamakan *Autregressive Integrated Moving Average (ARIMA)* model dapat lebih efektif menjelaskan proses itu. Pada model gabungan ini series stasioner adalah fungsi dari nilai lampaunya serta nilai sekarang dan kesalahan lampaunya.

Bentuk umum model ini adalah :

$$Y_t = b_0 + b_1 Y_{t-1} + \dots + b_n Y_{t-n} - a_1 e_{t-1} - \dots - a_n e_{t-n} + e_t \quad (2.9)$$

dimana:

- Y_t = nilai series yang stasioner
- Y_{t-1}, Y_{t-2} = nilai lampau series yang bersangkutan
- e_{t-1}, e_{t-2} = variabel bebas yang merupakan lag dari residual
- e_t = residual
- b_0 = konstanta
- b_1, b_n, a_1, a_n = koefisien model.

Syarat yang diperlukan agar proses ini stasioner $b_1 + b_2 + \dots + b_n < 1$.

Proses ini dilambangkan dengan *ARIMA* (p,d,q). Dengan q menunjukkan ordo/derajat autoregressive (AR), d adalah tingkat proses differencing, dan p menunjukkan ordo/derajat moving average (MA).

2.5.2 *Environmental Kuznet Curve*

Metode *Environmental Kuznet Curve* merupakan suatu metode yang menunjukkan hubungan antara kualitas lingkungan dengan peningkatan ekonomi masyarakat setempat termasuk yang berkenaan dengan permasalahan emisi karbon. Model *Kuznets Curve* adalah grafik dengan jumlah peningkatan emisi karbon pada sumbu horisontal, dan tingkat pertumbuhan pendapatan ekonomi

pada sumbu vertikalnya. Merupakan model prediksi yang berhubungan dengan kondisi lingkungan, *Kuznets curve* memiliki kelebihan dimana pada model ini juga terdapat variable peningkatan ekonomi masyarakat setempat. Model umum dari *Kuznet Curve* yang menunjukkan hubungan antara peningkatan dan pertumbuhan ekonomi masyarakat adalah sebagai berikut.

$$y_i = \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \varepsilon_i \quad (2.10)$$

dimana :

y_1 = emisi karbon pada tahun ke .

x = pertumbuhan per kapita ekonomi

ε_1 = *error term*

β_n = koefisien Emisi.

2.5.3 Grey Model

Model ini adalah model prediksi yang berubah terhadap waktu (*time series*). Ini berarti bahwa model diperbarui sebagai data baru yang tersedia untuk model peramalan. Tujuan utama dari sistem *Grey* adalah untuk fokus pada hubungan antara analisis struktur model dan kondisi ketidakpastian, multi-data input, data diskrit dan kurangnya data untuk peramalan dan pengambilan keputusan. *Grey model* dapat digunakan sebagai model prediksi dengan data yang minimum. model ini hanya menggunakan data emisi karbon saja untuk melakukan sistem prediksinya. baik jika digunakan sebagai model prediksi dalam jangka waktu prediksi yang sangat lama. Model matematis umum dari *grey model* adalah sebagai berikut.

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3) \dots \dots x^{(0)}(n)) \quad (2.11)$$

$x^{(0)}$ adalah nilai pengukuran yang didapatkan dengan n adalah jumlah tahun penelitian.

$$x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3) \dots \dots x^{(1)}(n)) \quad (2.12)$$

dimana,

$$x^{(0)} = x^{(1)} \text{ dan } x^{(1)}(k) = \sum_{m=1}^k x^{(0)}(m) \quad (2.13)$$

dengan $k = 1, 2, 3, \dots n$. Kemudian persamaan 2.13 diatas, disubstitusikan kedalam persamaan least square sehingga didapatkan persamaan 2.14 seperti dibawah.

$$x^{(1)}(k) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right) e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a} \quad (2.14)$$

dimana a dan b merupakan koefisien estimasi dari *grey model*.

$$[a, b]^T = (B^T B)^{-1} B^T X_n \quad (2.15)$$

$$B = \begin{bmatrix} -0.5 \left(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)\right) & 1 \\ -0.5 \left(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)\right) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -0.5 \left(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)\right) & 1 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Sehingga didapatkan persamaan umum untuk *forecasting* adalah sebagai berikut.

$$x^{(0)}(k) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right) (1 - e^a) e^{-a(k-1)} \quad (2.17)$$

dengan :

$x^{(0)}$ = Data awal

a dan b = Koefisien estimasi dari *Grey Model*

k = tahun ke -.

2.6 Ruang Terbuka Hijau

Ruang Terbuka Hijau adalah area memanjang/jalur dan/atau mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam. Berdasarkan Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 1 Tahun 2007 menyatakan bahwa ruang terbuka hijau atau yang lebih dikenal dengan sebutan Ruang Terbuka Hijau Kawasan Perkotaan (RTHKP) adalah bagian dari ruang terbuka suatu kawasan perkotaan yang diisi oleh tumbuhan dan tanaman guna mendukung manfaat ekologi, sosial, budaya, ekonomi dan estetika.

Secara administrative perkotaan, ruang terbuka hijau dibagi menjadi dua yaitu ruang terbuka hijau publik dan ruang terbuka hijau privat. RTH Publik adalah RTH yang penyediaan dan pemeliharaannya menjadi tanggungjawab Pemerintah Kabupaten/Kota. Sedangkan RTH Privat adalah ruang terbuka hijau

yang penyediaan dan pemeliharaannya menjadi tanggungjawab pihak/lembaga swasta, perseorangan dan masyarakat yang dikendalikan melalui izin pemanfaatan ruang oleh Pemerintah Kabupaten/Kota.

Jenis-jenis Ruang Terbuka Hijau Kawasan Perkotaan berdasarkan Permendagri No.1 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang Terbuka Hijau Kawasan Perkotaan dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 05/PRT/M/2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan.

2.6.1 Taman Kota

Taman kota merupakan ruang di dalam kota yang ditata untuk menciptakan keindahan, kenyamanan, keamanan, dan kesehatan bagi penggunaannya. Selain itu, taman kota difungsikan sebagai paru-paru kota, pengendali iklim mikro, konservasi tanah dan air, dan habitat berbagai flora dan fauna. Apabila terjadi suatu bencana, maka taman kota dapat difungsikan sebagai tempat posko pengungsian. Pepohonan yang ada dalam taman kota dapat memberikan manfaat keindahan, penangkal angin, dan penyaring cahaya matahari. Taman kota berperan sebagai sarana pengembangan budaya kota, pendidikan, dan pusat kegiatan kemasyarakatan.

2.6.2 Taman Wisata Alam

Kawasan taman wisata alam berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 28 Tahun 2011 tentang Pengelolaan Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam adalah kawasan pelestarian alam yang dimanfaatkan terutama untuk kepentingan pariwisata alam dan rekreasi. Kriteria suatu wilayah dapat ditunjuk dan ditetapkan sebagai kawasan taman wisata alam berdasarkan PP No. 28 Tahun 2011 Pasal 10, meliputi:

- a) mempunyai daya tarik alam berupa tumbuhan, satwa atau bentang alam, gejala alam serta formasi geologi yang unik.
- b) mempunyai luas yang cukup untuk menjamin kelestarian potensi dan daya tarik alam untuk dimanfaatkan bagi pariwisata dan rekreasi alam.

- c) kondisi lingkungan di sekitarnya mendukung upaya pengembangan pariwisata alam.

2.6.3 Taman Rekreasi

Taman rekreasi merupakan tempat rekreasi yang berada di alam terbuka tanpa dibatasi oleh suatu bangunan, atau rekreasi yang berhubungan dengan lingkungan dan berorientasi pada penggunaan sumberdaya alam seperti air, hujan, pemandangan alam atau kehidupan di alam bebas. Kegiatan rekreasi dibedakan menjadi kegiatan yang bersifat aktif dan pasif. Kegiatan yang cukup aktif seperti piknik, olah raga, permainan, dan sebagainya melalui penyediaan sarana-sarana permainan.

2.6.4 Taman Lingkungan Perumahan dan Permukiman

Taman lingkungan perumahan dan permukiman merupakan taman dengan klasifikasi yang lebih kecil dan diperuntukkan untuk kebutuhan rekreasi terbatas yang meliputi populasi terbatas/masyarakat sekitar. Taman ini mempunyai fungsi sebagai paru-paru kota (sirkulasi udara dan penyinaran), peredam kebisingan, menambah keindahan visual, area interaksi, rekreasi, tempat bermain, dan menciptakan kenyamanan lingkungan.

2.6.5 Taman Lingkungan Perkantoran dan Gedung Komersial

Taman lingkungan perkantoran dan gedung komersial merupakan taman dengan klasifikasi yang lebih kecil dan diperuntukkan untuk kebutuhan terbatas yang meliputi populasi terbatas/pengunjung. Taman ini terletak di beberapa kawasan institusi, misalnya pendidikan dan kantor-kantor. Institusi tersebut membutuhkan RTH pekarangan untuk tempat upacara, olah raga, area parkir, sirkulasi udara, keindahan dan kenyamanan waktu istirahat belajar atau bekerja.

2.6.6 Taman Hutan Raya

Taman Hutan Raya berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 28 Tahun 2011 tentang Pengelolaan Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam adalah kawasan pelestarian alam untuk tujuan koleksi tumbuhan dan/atau satwa yang

alami atau bukan alami, jenis asli dan/atau bukan jenis asli, yang tidak invasif dan dimanfaatkan untuk kepentingan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, budaya, pariwisata, dan rekreasi.

2.6.7 Hutan Kota

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 63 Tahun 2002 tentang Hutan Kota, hutan kota didefinisikan sebagai suatu hamparan lahan yang bertumbuhan pohon-pohon yang kompak dan rapat di dalam wilayah perkotaan baik pada tanah negara maupun tanah hak, yang ditetapkan sebagai hutan kota oleh pejabat yang berwenang. Persentase luas hutan kota paling sedikit 10% dari wilayah perkotaan dan atau disesuaikan dengan kondisi setempat dengan luas minimal sebesar 0.25 ha dalam satu hamparan yang kompak (hamparan yang menyatu).

Taman hutan raya, kebun raya, kebun binatang, hutan lindung, arboretum, dan bumi perkemahan yang berada di wilayah kota atau kawasan perkotaan dapat diperhitungkan sebagai luasan kawasan yang berfungsi sebagai hutan kota. Hutan kota juga mempunyai beberapa fungsi seperti memperbaiki dan menjaga iklim mikro dan nilai estetika, meresapkan air, menciptakan keseimbangan dan keserasian lingkungan fisik kota, dan mendukung pelestarian keanekaragaman hayati. Hutan kota dapat dimanfaatkan sebagai tempat pariwisata alam, rekreasi, olah raga, penelitian dan pengembangan, pendidikan, pelestarian plasma nutfah, dan budidaya hasil hutan bukan kayu. Hal-hal tersebut dapat dilakukan selama tidak mengganggu fungsi hutan kota.

2.6.8 Kebun Binatang

Kebun binatang adalah tempat dimana hewan dipelihara dalam lingkungan buatan serta dipertunjukkan kepada publik. Selain menyuguhkan atraksi kepada pengunjung dan memiliki berbagai fasilitas rekreasi, kebun binatang juga mengadakan program-program pembiakan, penelitian, konservasi, dan pendidikan.

2.6.9 Pemakaman Umum

Pemakaman umum merupakan salah satu fasilitas sosial yang berfungsi sebagai tempat pemakaman bagi masyarakat yang meninggal dunia. Pemakaman

umum juga memiliki fungsi lainnya seperti cadangan RTH, daerah resapan air, dan paru-paru kota. Lahan pemakaman selain digunakan untuk tempat pemakaman, umumnya memiliki sedikit lahan untuk ruang terbangun dan sisanya ditanami berbagai jenis tumbuhan.

2.6.10 Lapangan Olahraga

Lapangan olahraga merupakan lapangan yang dibangun untuk menampung berbagai aktifitas olahraga seperti sepak bola, voli, atletik, dan golf serta sarana-sarana penunjangnya. Fungsi lapangan olahraga pertemuan, adalah sebagai sarana wadah interaksi dan olahraga, tempat sosialisasi, bermain, serta untuk meningkatkan kualitas lingkungan sekitarnya.

2.6.11 Parkir Terbuka

Area parkir merupakan unsur pendukung sistem sirkulasi kota yang dapat menambah kualitas visual lingkungan. Lahan parkir terbuka yang ada di perkantoran, hotel, restoran, pusat perbelanjaan, dan lainnya hendaknya ditanami dengan pepohonan agar tercipta lingkungan yang sejuk dan nyaman.

2.6.12 Jalur Dibawah Tegangan Tinggi (SUTT dan SUTET)

SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) dan SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) adalah sistem penyaluran listrik yang ditujukan untuk menyalurkan energi listrik dari pusat-pusat pembangkit yang jaraknya jauh menuju pusat-pusat beban sehingga energi listrik bisa disalurkan dengan efisien. Daerah sekitarnya hendaklah tidak dijadikan daerah terbangun, tapi dijadikan RTH jalur hijau. RTH ini berfungsi sebagai pengamanan, pengendalian jaringan listrik tegangan tinggi, dan mempermudah dalam melakukan perawatan instalasi.

2.6.13 Sempadan Sungai, Pantai, Bangunan, Situ, dan Rawa

Sempadan adalah RTH yang berfungsi sebagai batas dari sungai, danau, waduk, situ, pantai, dan mata air atau bahkan kawasan limitasi terhadap penggunaan lahan disekitarnya. Sempadan sungai adalah kawasan sepanjang kiri kanan sungai termasuk sungai buatan/kanal/saluran irigasi primer yang

mempunyai manfaat penting untuk mempertahankan kelestarian fungsi sungai, mengamankan aliran sungai, dan dikembangkan sebagai area penghijauan.

2.6.14 Jalur Pengaman Jalan, Median Jalan, Rel Kereta Api, Pipa Gas, dan Pedestrian

Jalur hijau jalan adalah pepohonan, rerumputan, dan tanaman perdu yang ditanam pada pinggiran jalur pergerakan di samping kiri-kanan jalan dan median jalan. RTH jalur pengaman jalan terdiri dari RTH jalur pejalan kaki, taman pulo jalan yang terletak di tengah persimpangan jalan, dan taman sudut jalan yang berada di sisi persimpangan jalan. Median jalan adalah ruang yang disediakan pada bagian tengah dari jalan untuk membagi jalan dalam masing-masing arah yang berfungsi mengamankan ruang bebas samping jalur lalu lintas. Beberapa fungsi jalur hijau jalan yaitu sebagai penyegar udara, peredam kebisingan, mengurangi pencemaran polusi kendaraan, perlindungan bagi pejalan kaki dari hujan dan sengatan matahari, pembentuk citra kota, dan mengurangi peningkatan suhu udara.

2.6.15 Taman Atap

Taman atap adalah taman yang memanfaatkan atap atau teras rumah atau gedung sebagai lokasi taman. Taman ini berfungsi untuk membuat pemandangan lebih asri, teduh, sebagai insulator panas, menyerap gas polutan, mencegah radiasi ultraviolet dari matahari langsung masuk ke dalam rumah, dan meredam kebisingan. Taman atap ini juga mampu mendinginkan bangunan dan ruangan dibawahnya sehingga bisa lebih menghemat energi seperti pengurangan pemakaian AC. Tanaman yang sesuai adalah tanaman yang tidak terlalu besar dengan sistem perakaran yang mampu tumbuh pada lahan terbatas, tahan hembusan angin, dan tidak memerlukan banyak air.

Taman atap mempunyai dua fungsi, yaitu bersifat intensif, di mana kegiatan yang dilakukan didalamnya aktif dan variatif serta menampung banyak orang. Fungsi yang kedua bersifat ekstensif, yaitu mempunyai satu jenis kegiatan dan tidak melibatkan banyak orang atau bahkan tidak diperuntukkan untuk

kegiatan manusia. Taman atap mempunyai pemandangan yang berbeda dengan taman konvensional.

2.7 Produk Domestik Bruto (PDB)

Salah satu indikator penting untuk mengetahui kondisi ekonomi di suatu negara dalam suatu periode tertentu adalah data Produk Domestik Bruto (PDB), baik atas dasar harga berlaku maupun atas dasar harga konstan. PDB pada dasarnya merupakan jumlah nilai tambah yang dihasilkan oleh seluruh unit usaha dalam suatu negara tertentu, atau merupakan jumlah nilai barang dan jasa akhir yang dihasilkan oleh seluruh unit ekonomi. PDB atas dasar harga berlaku menggambarkan nilai tambah barang dan jasa yang dihitung menggunakan harga yang berlaku pada setiap tahun, sedangkan PDB atas dasar harga konstan menunjukkan nilai tambah barang dan jasa tersebut yang dihitung menggunakan harga yang berlaku pada satu tahun tertentu sebagai dasar.

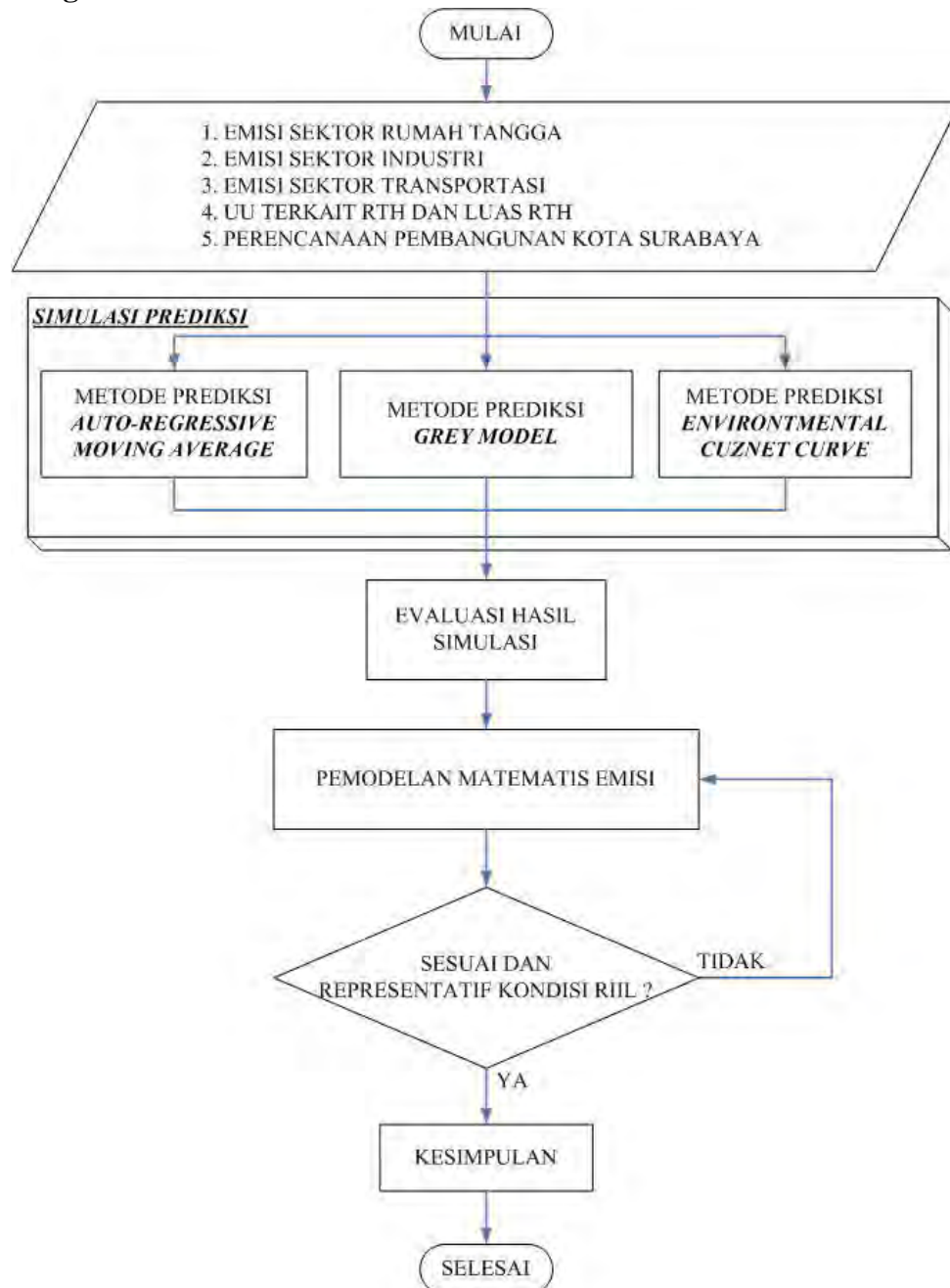
PDB atas dasar harga berlaku dapat digunakan untuk melihat pergeseran dan struktur ekonomi, sedang harga konstan digunakan untuk mengetahui pertumbuhan ekonomi dari tahun ke tahun. PDB adalah jumlah nilai tambah atas barang dan jasa yang dihasilkan oleh berbagai unit produksi di wilayah suatu negara dalam jangka waktu tertentu (biasanya satu tahun). Unit-unit produksi tersebut dalam penyajian ini dikelompokkan menjadi 9 lapangan usaha (sektor) yaitu :

- Pertanian, Peternakan, Kehutanan dan Perikanan
- Pertambangan dan Penggalian
- Industri Pengolahan
- Listrik, Gas dan Air Bersih
- Konstruksi
- Perdagangan, Hotel dan Restoran
- Pengangkutan dan Komunikasi
- Keuangan, Real Estate dan Jasa Perusahaan
- Jasa-jasa termasuk jasa pelayanan pemerintah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 METODA PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2 Identifikasi Sumber Emisi

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan maka dapat diperoleh variabel-variabel sumber penghasil emisi gas karbon dioksida. Dimana sumber emisi gas karbon dioksida dapat diketahui melalui data statistik dari banyaknya emisi yang dihasilkan dari sektor rumah tangga, sektor transportasi, dan sektor industri yang berada didalam kota Surabaya.

Data Emisi yang didapatkan diambil dari kajian Surabaya dalam angka tahun 2013 dari Badan Pusat Statistik dan dari instansi instansi penelitian yang melakukan perhitungan nilai emisi karbon dan PDB. Data-data tersebut dikumpulkan sejak tahun 2001 hingga tahun 2013 sebagai data pokok dalam proses simulasi prediksi yang akan dilakukan pada penelitian ini.

Serta dari BAPPEKO kota Surabaya terkait pertumbuhan luas RTH dan Dinas Perhubungan Kota Surabaya terkait pembangunan *Mass Rapid Transport (MRT)*. Data RTH dan MRT tersebut diperlukan untuk digunakan sebagai strategi pengurangan emisi yang terjadi berdasarkan hasil prediksinya.

3.3 Metode Simulasi Prediksi Emisi

Simulasi prediksi karbon ini merupakan proses dimana data emisi yang didapatkan serta data lain yang mendukung proses pembuatan model prediksi emisi karbon dioksida diolah, diperhitungkan hingga menghasilkan nilai prediksi besaran emisi karbon dioksida di Surabaya. Pada penelitian ini akan dilakukan tiga macam metode prediksi untuk emisi gas karbon dioksida yakni menggunakan metode *Auto-Regressive Moving Average (ARIMA)*, *Environtmental Cuznet Curve*, dan *Grey Model*.

3.3.1 *Auto-regressive Moving Average (ARIMA)*

Metode ARIMA menggunakan pendekatan iteratif dalam mengidentifikasi suatu model yang paling tepat dari berbagai model yang ada. Metode ARIMA dapat diaplikasikan sebagai metode untuk melakukan identifikasi model, estimasi parameter model, *diagnostic checking*, dan peramalan (*forecasting*). ARIMA hanya dapat diterapkan untuk deret waktu yang stasioner. Berdasarkan persamaan

umum ARIMA, maka pada penelitian ini digunakannya persamaan 3.1 sebagai operasi dalam melakukan peramalan emisi gas karbon dioksida.

$$Y_t = b_0 + b_1 Y_{t-1} + \dots + b_n Y_{t-n} - a_1 e_{t-1} - \dots - a_n e_{t-n} + e_t \quad (3.1)$$

dimana:

Y_t	= nilai emisi
Y_{t-1}, Y_{t-2}	= nilai lampau emisi
e_{t-1}, e_{t-2}	= variabel bebas yang merupakan lag dari residual
e_t	= residual
b_0	= nilai emisi pertama
b_1, b_n, a_1, a_n	= koefisien model

Persamaan 3.1 diatas telah dirancang kedalam bentuk application tools pada MatLab. Sehingga pada proses peramalan yang akan dilakukan pada penelitian ini, metode prediksi ARIMA dilakukan dengan aplikasi dari software MatLab. Application Tools tersebut ternyata membutuhkan nilai parameter ARIMA yaitu parameter p,d,q dengan p menunjukkan ordo/ derajat moving average (MA), d adalah tingkat proses differencing, dan q menunjukkan ordo/ derajat autoregressive (AR).

Dengan menggunakan software minitab, parameter p,d,q bisa didapatkan dengan cara memasukkan nilai data yang akan menjadi dasar prediksi. Data tersebut yang dimaksud adalah data emisi dari tahun 2001 hingga tahun 2010. Kemudian pada *Tool Option* yang ada pada software minitab, dapat diketahui nilai parameter-parameter tersebut. Dimana berdasarkan proses yang dilakukan pada minitab didapatkan parameter terbaik berdasarkan data emisi tersebut adalah dengan menggunakan ARIMA(1,0,1).

Parameter ARIMA tersebut yang menjadi dasar dalam melakukan proses prediksi emisi gas karbon dioksida. Dimana *script* kode yang dioperasikan pada MatLab adalah sebagai berikut.

model = arima(1,0,1);

3.3.2 Grey Model

Model ini adalah model prediksi yang berubah terhadap waktu (time series). Ini berarti bahwa model diperbarui sebagai data baru yang tersedia untuk model peramalan. Tujuan utama dari Grey sistem adalah untuk fokus pada hubungan antara analisis struktur model dan kondisi ketidakpastian, multi-data input, data diskrit dan kurangnya data untuk peramalan dan pengambilan keputusan. Grey model dapat digunakan sebagai model prediksi dengan data yang minimum. Persamaan umum untuk *forecasting* pada metode *Grey Model* adalah sebagai berikut.

$$x^{(0)}(k) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) (1 - e^a) e^{-a(k-1)} \quad (3.2)$$

dengan :

$x^{(0)}$ = Data awal

a dan b = Koefisien estimasi dari *Grey Model*

k = tahun ke - .

Pada penelitian ini, penggunaan metode *Grey Model* sebagai metode prediksi emisi gas karbon dilakukan pada software MatLab. $x^{(0)}(k)$ merupakan data awal pada tahun ke k dengan $k = 1, 2, 3, \dots, n$. Dimana data yang digunakan tersebut adalah data emisi dan juga data PDB. Data awal emisi dan PDB tersebut merupakan data emisi dan PDB sejak tahun 2001 hingga tahun 2010. Kemudian langkah selanjutnya adalah menentukan nilai parameter estimasi untuk dioperasikan pada simulasi *grey model* yakni mendefinisikan parameter a dan b berdasarkan data awal tersebut.

Setelah didapatkan nilai-nilai diatas, maka dapat dilakukan proses estimasi data emisi selanjutnya. Nilai estimasi tersebut selanjutnya dijadikan data tambahan pada data awal emisi untuk proses prediksi. Kemudian kumpulan data awal ditambah dengan data estimasi tersebut dilakukan proses estimasi selanjutnya dengan mengiterasikan proses prediksi metode *Grey Model* ini secara terus menerus.

3.3.3 *Environmental Kuznet Curve*

Metode *Environmental Kuznet Curve* merupakan suatu metode yang menunjukkan hubungan antara kualitas lingkungan dengan peningkatan ekonomi masyarakat setempat termasuk yang berkenaan dengan permasalahan emisi karbon. Model *Kuznets Curve* adalah grafik dengan jumlah peningkatan emisi karbon pada sumbu horisontal, dan tingkat pertumbuhan pendapatan ekonomi pada sumbu vertikalnya dengan persamaan umum EKC adalah sebagai berikut.

$$y_i = \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \varepsilon_i \quad (3.3)$$

Dimana :

y_1 = emisi karbon pada tahun ke .

x = pertumbuhan per kapita ekonomi

ε_1 = *error term*

β_n = koefisien

Sama seperti proses prediksi yang dilakukan pada metode ARIMA dan Grey model, prediksi menggunakan metode *Environtmental Kuznet Curve* ini menggunakan data awal dari tahun 2001 hingga tahun 2010. Data awal yang digunakan adalah data emisi dan data PDB.

Data-data tersebut selanjutnya dijadikan input data proses simulasi prediksi *Environtmental Kuznet Curve* ini menggunakan *Simulink* MatLab. Hasil prediksi yang didapatkan pada simulasi ini kemudian dikelompokkan kembali pada data awal yang digunakan sebagai dasar estimasi. Data estimasi yang baru tersebut kemudian dilakukan proses iterasi untuk mendapatkan nilai prediksi selanjutnya.

3.4 Evaluasi Hasil Prediksi

Bagian ini berisi analisa mengenai hasil simulasi prediksi emisi gas karbon dari ketiga metode (*ARIMA*, *Grey Model*, dan *EKC*). Dari ketiga metode prediksi tersebut, hasil simulasi yang didapatkan kemudian dilakukan validasi nilai. Proses validasi ini dilakukan dengan cara menghitung *error* rata-rata dari nilai prediksi yang dihasilkan pada tahun 2001 hingga tahun 2013 dengan data emisi sebenarnya yang telah didapatkan.

Berdasarkan hasil validasi tersebut, nilai *error* rata-rata dari masing-masing metode tersebut kemudian dibandingkan antara satu dengan yang lainnya. Sehingga nilai *error* rata-rata terkecil yang didapatkan, menunjukkan metode mana yang paling cocok dan menghasilkan nilai prediksi emisi gas karbon dioksida yang mendekati nilai sesungguhnya.

3.5 Pemodelan Matematis

Setelah diketahui metode mana yang cocok untuk memprediksi nilai emisi gas karbon dioksida dengan karakteristik kota Surabaya. Kemudian langkah selanjutnya adalah menjabarkan kembali variabel-variabel penting apa saja yang mempengaruhi besar kecilnya tingkat emisi gas karbon dioksida pada metode yang menghasilkan nilai *error* rata-rata terkecil tersebut. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui variabel-variabel apa saja yang dapat mempengaruhi nilai prediksi dari metode tersebut.

Dari variabel-variabel tersebut, kemudian dilakukan proses perhitungan sehingga bisa didapatkan suatu model matematis yang dapat merepresentasikan jumlah pembentukan emisi gas karbon dioksida yang terjadi di kota Surabaya. Dari hasil perhitungan model matematis yang telah didapatkan tersebut, nantinya akan dilakukan proses korelasi dari variabel-variabel terbesar yang membentuk nilai emisi gas karbon dioksida.

3.6 Kesimpulan

Bagian ini merupakan bagian terakhir dari proses penelitian ‘Analisa Dan Prediksi Emisi Gas Karbon Dioksida Untuk Mendukung Pengembangan Energi Hijau Di Kota Surabaya. Bagian ini berisi tentang hasil akhir dan kesimpulan yang dapat diperoleh setelah dilakukannya seluruh tahapan penelitian.

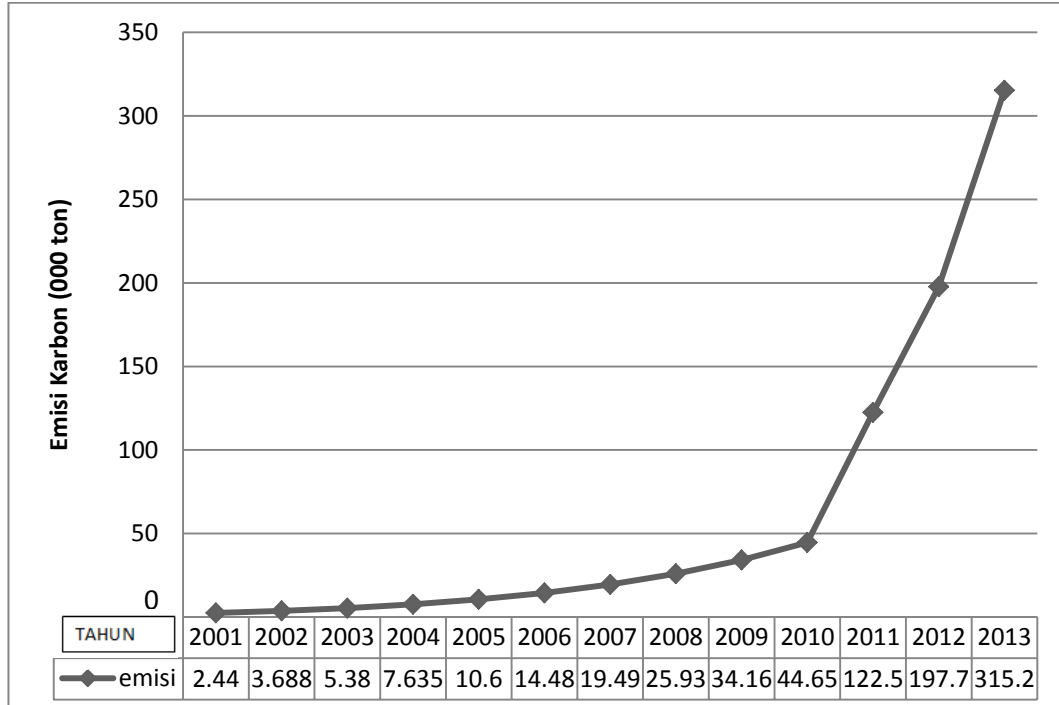
Kesimpulan yang didapatkan merupakan hasil terbaik dari metode prediksi yang telah dilakukan. Kemudian berdasarkan model matematis yang telah didapatkan, variabel-variabel terbesar pembentuk emisi dihitung nilai korelasinya. Selain itu, pada kesimpulan ini juga dihitung seperti apa kondisi emisi yang terjadi di kota Surabaya berdasarkan hasil prediksi dengan kemampuan penyerapan RTH dalam mengurangi emisi yang terjadi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Perhitungan

Pada penelitian ini, data yang digunakan merupakan kumpulan data dari instansi-instansi yang berkaitan terhadap faktor penyumbang emisi. Data-data tersebut antara lain adalah data jumlah penduduk dari Dinas Pendaftaran dan Catatan Sipil Kota Surabaya, data jumlah industri beserta jenisnya dan data PDB kota Surabaya yang diperoleh dari Dinas Perindustrian, Perdagangan dan Penanaman modal Kota Surabaya, data banyaknya jumlah kendaraan beserta jenisnya dari Dinas Perhubungan Kota Surabaya, data terkait Ruang Terbuka Hijau dari BAPPEKO Surabaya. Kemudian data yang terkait dengan besarnya jumlah emisi karbon yang terjadi di Surabaya didapatkan dari Institute for Essential Services Reform (IESR) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Pertumbuhan Emisi di Surabaya

Sumber : Institute for Essential Services Reform (IESR).

Berdasarkan gambar 4.1 dapat dilihat bahwa tren besarnya nilai emisi karbon dioksida yang terjadi di kota Surabaya dari tahun ke tahun mengalami pertumbuhan secara terus menerus. Pertumbuhan tersebut mengindikasikan bahwa dari tahun ke tahun, jumlah permintaan dan penggunaan energi di kota Surabaya semakin meningkat sehingga gas buang hasil pembakaran atau penggunaan energi tersebut juga semakin bertambah banyak.

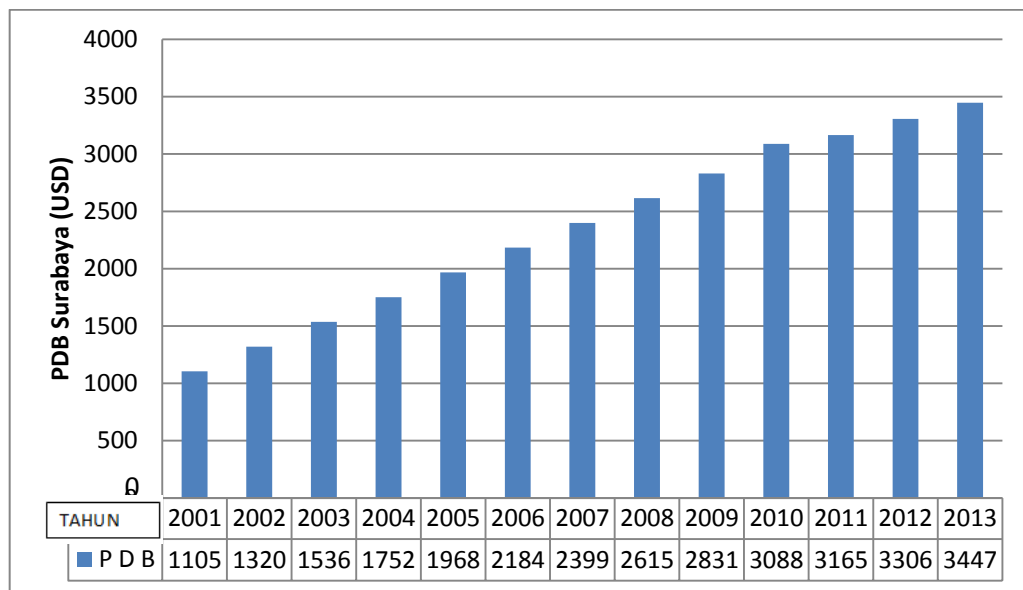
Dari beberapa teori terkait bidang ekonomi menyebutkan bahwa semakin berkembangnya tingkat perekonomian suatu daerah maka permintaan energi pada wilayah tersebut juga akan meningkat. Oleh karena itu, kemudian dicari data mengenai seberapa besar tingkat pertumbuhan ekonomi di kota Surabaya. Didapatkan pula perbandingan tingkat pertumbuhan ekonomi antara kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur, dan Indonesia seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Pertumbuhan Ekonomi Kota Surabaya

Wilayah	2006 (%)	2007(%)	2008(%)	2009(%)	2010(%)
Surabaya	6,35	6,31	6,23	5,53	7,09
Jawa Timur	5,8	6,11	5,9	5,01	6,68
Indonesia	5,48	6,28	6,10	4,63	6,20

Sumber :Biro Pusat Statistik

Berdasarkan data pada tabel 4.1 diatas dapat diketahui bahwa prosentase pertumbuhan ekonomi kota Surabaya lebih besar dari pertumbuhan ekonomi di Jawa Timur maupun Indonesia. Namun secara kumulatif pertumbuhan ekonomi, khususnya besar nilai PDB perkapita dari kota Surabaya yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



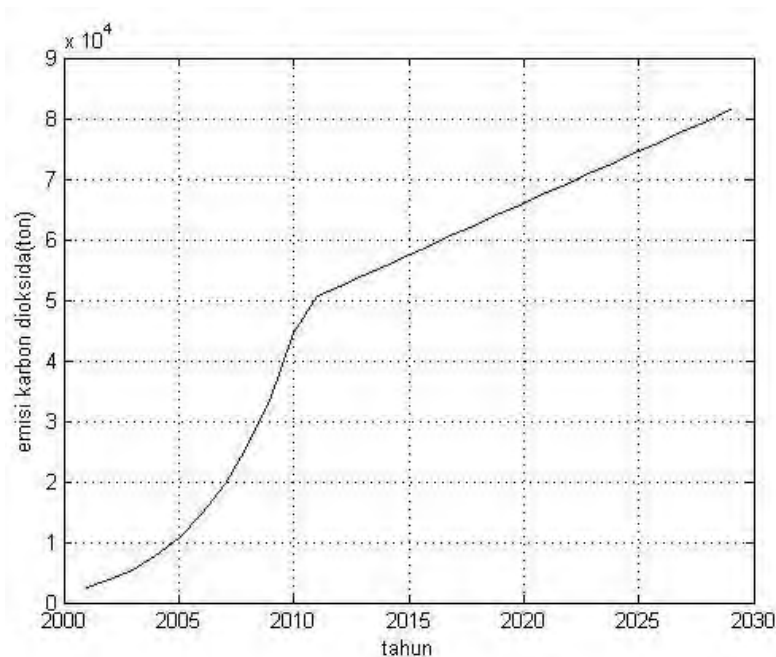
Gambar 4.2 Grafik Pertumbuhan PDB Kota Surabaya

Sumber : Biro Pusat Statistik

Kemudian setelah semua data terkait penelitian ini telah didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi prediksi emisi gas karbon dioksida di Surabaya menggunakan metode *Autoregressive Moving Average (ARIMA)*, *Environmental Kuznet Curve*, dan *Grey Model*. Hasil yang nantinya didapatkan dari masing-masing metode tersebut kemudian dibandingkan agar dapat diketahui metode mana yang lebih cocok untuk digunakan dan sesuai dengan karakteristik kota Surabaya.

4.1.1 Autoregressive Moving Average (ARIMA)

Data yang digunakan pada simulasi prediksi dengan metode ARIMA ini adalah data emisi karbon dioksida dari tahun 2001 hingga tahun 2010. Sedangkan data emisi karbon dioksida tahun 2011 hingga 2013 digunakan sebagai data validasinya. Kemudian data awal tersebut digunakan sebagai perhitungan pada minitab agar diketahui nilai q, d, p yang sesuai berdasarkan data emisi tersebut. Hasil yang dinilai paling baik berdasarkan data diatas yakni menggunakan ARIMA(1,0,1). Selanjutnya menggunakan software MatLab, dilakukan uji simulasi prediksinya. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, didapatkan nilai prediksi emisi karbon hingga tahun 2029 dengan menggunakan metode ARIMA (1,0,1) seperti yang ditunjukkan dengan gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Nilai Prediksi Emisi Menggunakan ARIMA (1,0,1)

Setelah didapatkan nilai simulasinya kemudian dilakukan proses validasi. Akan tetapi hasil yang didapatkan setelah dilakukan validasi, nilai prediksi menggunakan metode ARIMA, dibandingkan terhadap data emisi pada tahun 2011 sampai 2013, ternyata memiliki *error* rata-rata terhadap nilai sebenarnya sebesar 71,72%. Besarnya nilai *error* yang terjadi pada metode prediksi ARIMA ini menunjukkan bahwa metode ini kurang cocok untuk digunakan sebagai metode simulasi prediksi emisi gas karbon dioksida.

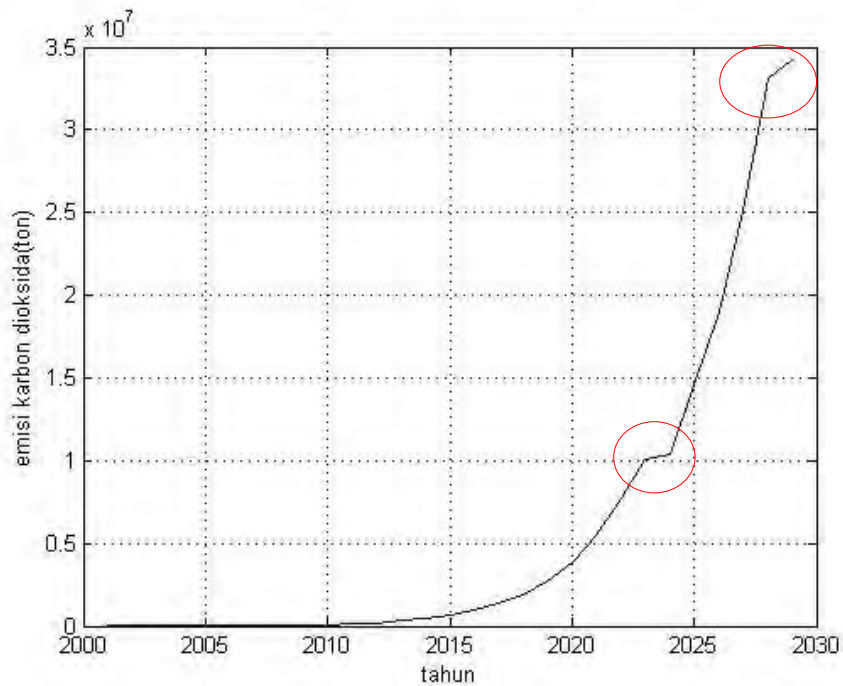
Selain itu ARIMA membutuhkan data yang bersifat *seasonal* atau data yang berulang pada suatu waktu agar dapat melakukan prediksi yang akurat. Sedangkan pertumbuhan emisi tidak berupa data musiman yang berulang pada suatu waktu sehingga hal ini yang mempengaruhi bahwa nilai prediksi emisi menggunakan ARIMA ini memiliki penyimpangan yang besar. Hal ini juga terjadi pada penelitian yang dilakukan di tempat lain dengan studi kasus di Negara Iran (Lotfalipour, 2010) dimana pada penelitian tersebut dilakukan perbandingan prediksi emisi karbon menggunakan metode ARIMA dan metode grey model. Hasil dari penelitian tersebut dijelaskan bahwa ketika dibandingkan antara kedua metode prediksi tersebut didapatkan bahwa metode grey lebih baik dari metode ARIMA.

4.1.2 Grey Model

Berdasarkan hasil prediksi yang didapatkan dari metode ARIMA, ternyata terdapat perbedaan hasil yang signifikan. Sehingga dilakukan uji prediksi emisi karbon selanjutnya dengan menggunakan metode Grey Model. Metode ini digunakan sebagai pembandingan terhadap metode ARIMA yang telah dilakukan sebelumnya. Sama seperti yang digunakan pada simulasi ARIMA sebelumnya, data awal sebagai acuan prediksi metode *Grey Model* ini menggunakan data emisi dari tahun 2001 hingga 2010. Selanjutnya dengan menggunakan MatLab, dilakukanlah proses simulasi prediksi menggunakan metode *Grey Model*. Hasil yang didapatkan dari proses simulasi prediksi tersebut ditunjukkan pada gambar 4.4.

Berdasarkan nilai dari hasil prediksi dengan metode *Grey Model* yang sudah didapatkan, kemudian dilakukan validasi terhadap hasil prediksi tersebut. Nilai prediksi yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan nilai emisi pada tahun 2011 sampai dapat dihitung *error* prediksinya. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai *error* rata-rata yang metode *Grey Model* yang telah dilakukan adalah berkisar 6,81% terhadap nilai sebenarnya.

Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa terjadi trend yang tidak konsisten pada grafik, dimana terdapat nilai yang hampir sama pada sekitar tahun 2024 dan tahun 2029. Trend yang tidak konsisten tersebut bisa dikarenakan metode grey model ini memiliki kemampuan yang baik untuk memprediksi dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama dari data yang menjadi acuan. Sehingga apabila semakin lama waktu prediksi yang akan dilakukan maka kemungkinan trend nilai yang tidak konsisten ini akan semakin banyak dihasilkan.



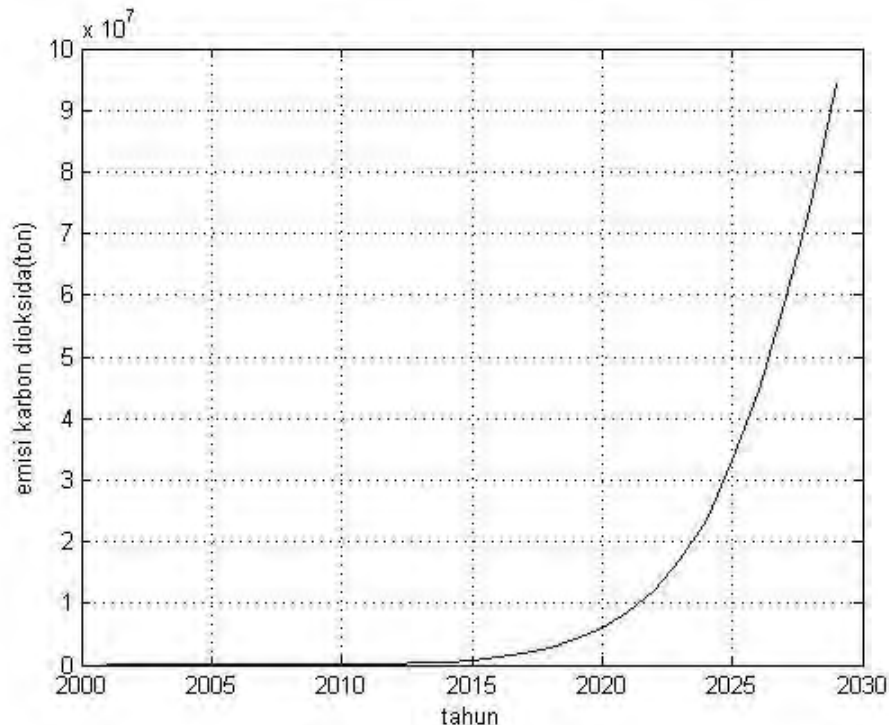
Gambar 4.4 Nilai Prediksi Emisi Menggunakan Metode *Grey Model*

4.1.3 *Environmental Kuznet Curve (EKC)*

Simulasi prediksi selanjutnya yang akan dilakukan adalah dengan menggunakan metode *Environmental Kuznet Curve (EKC)*. *EKC* ini merupakan metode prediksi emisi karbon dioksida yang juga memperhitungkan pertumbuhan ekonomi masyarakat setempat. Berdasarkan data pada gambar 4.1 dan data terkait besar nilai PDB kota Surabaya seperti gambar 4.2, maka langkah selanjutnya akan dilakukan uji simulasi untuk prediksi emisi karbon menggunakan MatLab.

Setelah dilakukan uji simulasi menggunakan metode *EKC* ini didapatkan nilai prediksi seperti ditunjukkan pada gambar 4.5. Berdasarkan hasil prediksi yang didapatkan dengan metode *Environmental Kuznet Curve* ini kemudian dilakukan proses validasi. Proses validasi ini digunakan sebagai perhitungan nilai *error* rata-rata dengan membandingkan nilai prediksi terhadap nilai sebenarnya. Dari hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa nilai *error* rata-ratanya didapatkan sebesar 4,89% terhadap nilai sebenarnya. Nilai *error* rata-rata ini merupakan nilai terkecil yang dihasilkan dari ketiga metode yang telah dilakukan. Sehingga dapat dikatakan bahwa metode *Environmental Kuznet Curve* ini dapat

lebih sesuai dengan karakteristik kota Surabaya dan lebih mendekati nilai sebenarnya dari pada metode yang lainnya.



Gambar 4.4. Nilai Prediksi Emisi Metode Environtmental Kuznet Curve

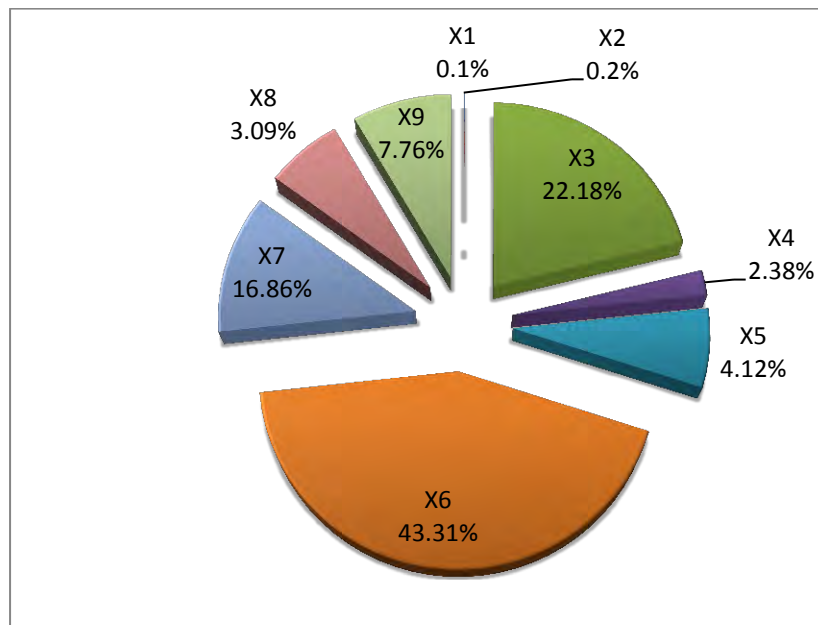
4.2 Pembahasan

Pada sub bab 4.1 diatas, telah ditunjukkan data awal terkait pertumbuhan emisi karbon dioksida dan data pertumbuhan PDB di kota Surabaya. Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa besarnya emisi yang terjadi diakibatkan karena banyaknya jumlah penggunaan energi dari ketiga sektor. Besarnya tingkat penggunaan emisi tersebut juga erat kaitannya dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi di kota Surabaya. Hal itu sejalan dengan teori yang dikemukakan pada metode *Environtmental Kuznet Curve*. Dimana laju pertumbuhan emisi karbon dioksida yang terjadi di suatu wilayah merupakan efek yang dipicu oleh peningkatan ekonomi pada wilayah tersebut. Maka dari itu dianalisa kembali mengenai hubungan antara pertumbuhan ekonomi yang berupa PDB perkapita kota Surabaya dengan pertumbuhan tingkat emisi di kota Surabaya.

Dari gambar 4.1 dan 4.2 terlihat bahwa pertumbuhan tingkat emisi karbon di kota Surabaya meningkat seiring dengan peningkatan perekonomian kota

Surabaya. Hal ini sesuai dengan teori yang mendasari prediksi menggunakan metode *Kuznet Curve*. Hal ini juga didukung dari hasil simulasi prediksi emisi tahun-tahun kedepan di kota Surabaya menggunakan metode *Environtmental Kuznet Curve* dengan nilai *error* rata-ratanya paling kecil dan mendekati nilai sesungguhnya yakni sebesar 4,89%.

Oleh karena itu, keterkaitan antara peningkatan PDB dan pertumbuhan emisi tersebut perlu dicari hubungan antara variabel-variabel yang membentuknya. Dimana variabel yang membentuk nilai PDB, berdasarkan data yang didapatkan dari Dinas Perindustrian, Perdagangan dan Penanaman Modal Kota Surabayaterkait rincian besarnya PDB regional kota Surabaya, diketahui bahwa pengaruh PDB terbesar berasal dari sektor perdagangan, hotel, dan restoran (43,31%); sektor industri dan pengolahan (22,18%); pengangkutan dan komunikasi (16,86%); dan keuangan, persewaan, dan jasa-jasa (7,76%).



Gambar 4.6 Besar Sumbangan PDB tiap sektor

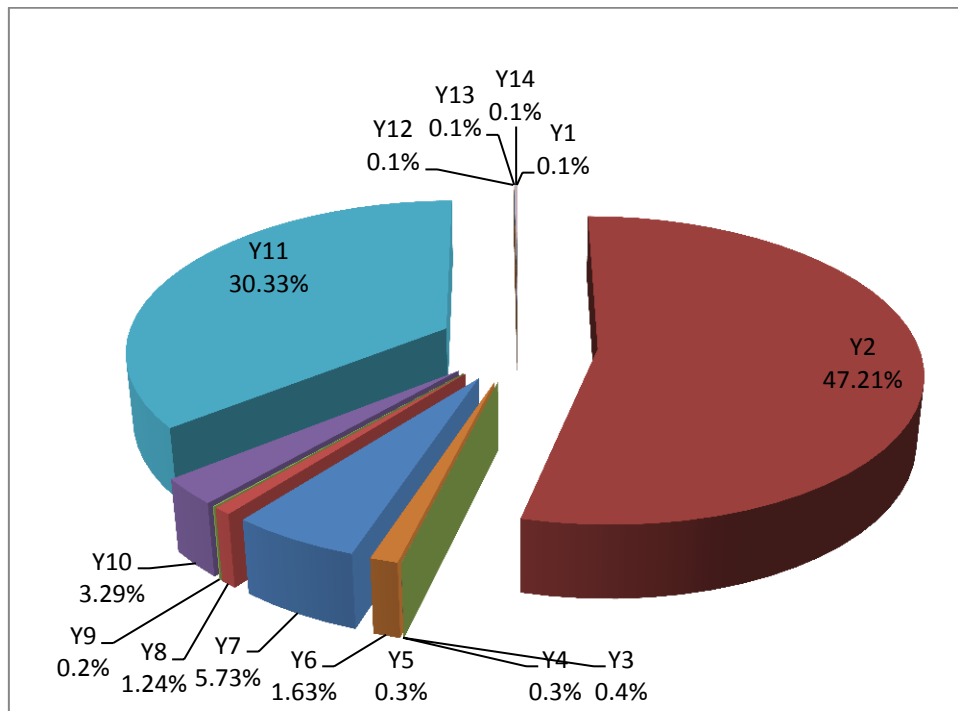
Variabel-variabel yang membentuk besarnya nilai PDB tersebut mampu mempengaruhi peningkatan nilai emisi di kota Surabaya. Sehingga diperlukan juga pemodelan matematis dari PDB dan persamaan tersebut ditunjukkan pada persamaan 4.1 dan 4.1 seperti dibawah ini.

$$PDB \text{ perkapita} = 0,0035X_1 + 0,0003X_2 + 0,9627X_3 + 0,0983X_4 + 0,3048X_5 + 1,9780X_6 + 0,5417X_7 + 0,2972X_8 + 0,3827X_9 + 7,2079 \quad (4.1)$$

dimana variabel-variabel pembentuk persamaan tersebut dijelaskan sebagai berikut :

- X_1 : PDB sektor pertanian,
- X_2 : PDB sektor pertambangan dan penggalian bukan MIGAS,
- X_3 : PDB sektir industri pengolahan,
- X_4 : PDB sektor listrik, gas, dan air bersih,
- X_5 : PDB sektor bangunan dan konstruksi,
- X_6 : PDB sektor perdagangan, hotel, dan restoran,
- X_7 : PDB sektor pengangkutan dan komunikasi,
- X_8 : PDB sektor keuangan, persewaan, dan jasa perusahaan,
- X_9 : PDB sektor Jasa-jasa.

Kemudian dikarenakan pertumbuhan tingkat ekonomi tersebut juga berpengaruh terhadap pertumbuhan tingkat emisi karbon dioksida, maka perlu dilakukan pemodelan matematis dari emisi karbon dioksida itu sendiri. Dari data penghasil emisi yang didapatkan, diketahui bahwa kontribusi terbesar ke kontribusi yang terkecil secara berurutan adalah emisi dari penggunaan LPG di rumah tangga sebesar 47%, emisi kendaraan roda dua sebesar 30%, emisi dari kendaraan jenis STWGN sebesar 5%, emisi dari hasil gas buang truk sebesar 3%, dan emisi dari kendaraan sedan serta jeep masing masing sebesar 1% dari jumlah emisi total di kota Surabaya.



Gambar 4.7 Besar Sumbangan Emisi tiap sektor

Hal ini ditujukan untuk mengetahui faktor-faktor mana saja yang menjadi penyumbang terhadap laju pertumbuhan emisi tersebut. Kemudian dari nilai masing-masing variabel tersebut kemudian dicari model matematis dari emisi seperti ditunjukkan pada persamaan 4.2.

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi} = & 0,0011Y_1 + 1,0015Y_2 + 0,9962Y_3 + 1,5691Y_4 + 0,4734Y_5 + 0,1877Y_6 + \\
 & 1,0431Y_7 + 0,1729Y_8 + 1,0350Y_9 + 1,1063Y_{10} + 1,0501Y_{11} + 0,1646Y_{12} + \\
 & 0,2189Y_{13} + 0,1534Y_{14} - 1.441,380
 \end{aligned} \quad (4.2)$$

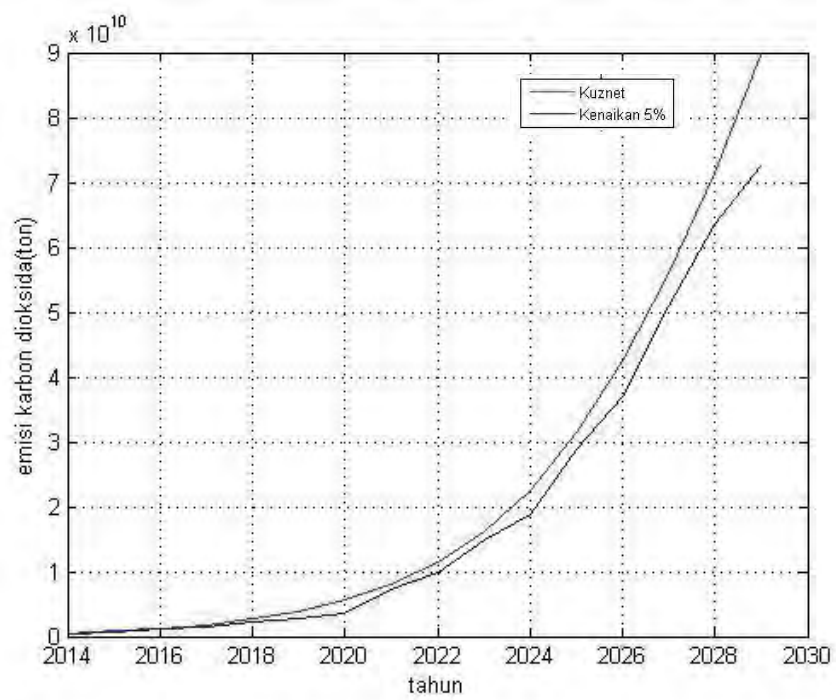
dengan variabel-variabel penyumbang besarnya nilai emisi pada persamaan 4.2 adalah sebagai berikut :

- Y₁ : Emisi penggunaan listrik rumah tangga,
- Y₂ : Emisi penggunaan gas LPG rumah tangga,
- Y₃ : Emisi hasil pengolahan industri kimia, agro, dan hasil hutan,
- Y₄ : Emisi hasil pengolahan industri logam, elektronika, dan mesin,
- Y₅ : Emisi hasil pengolahan industri kecil,
- Y₆ : Emisi hasil gas buang kendaraan pribadi sedan dan sejenisnya,
- Y₇ : Emisi hasil gas buang kendaraan pribadi STWGN dan sejenisnya,
- Y₈ : Emisi hasil gas buang kendaraan pribadi jeep dan sejenisnya,

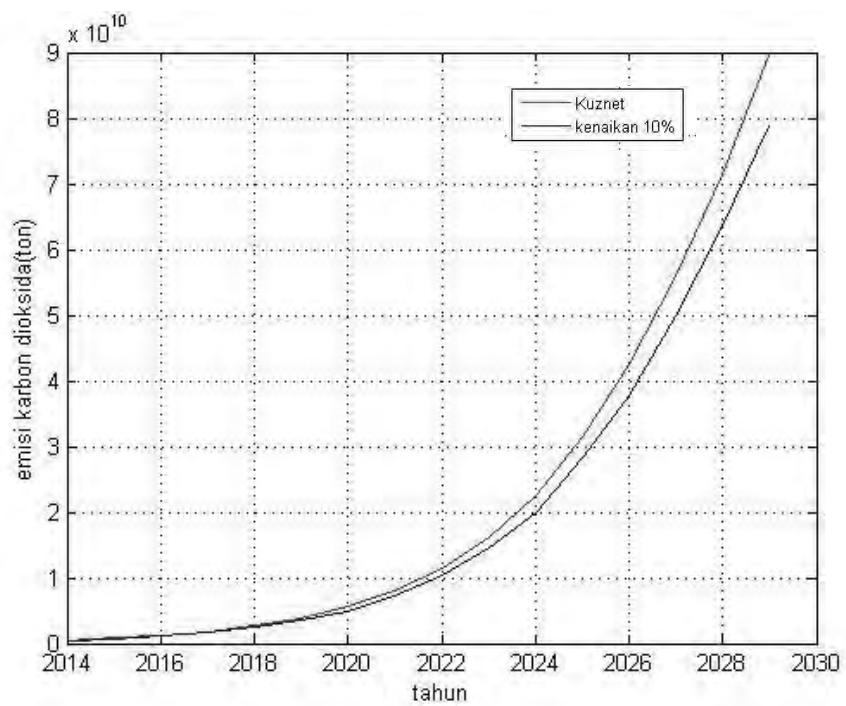
- Y_9 : Emisi hasil gas buang kendaraan bus dan sejenisnya,
- Y_{10} : Emisi hasil gas buang kendaraan truk dan sejenisnya,
- Y_{11} : Emisi hasil gas buang kendaraan pribadi roda dua (motor),
- Y_{12} : Emisi hasil gas buang alat berat dan sejenisnya,
- Y_{13} : Emisi hasil gas buang angkutan umum bemo dan sejenisnya,
- Y_{14} : Emisi hasil gas buang taksi.

Dari model matematis diatas, model matematis PDB perkapita dan Emisi, diketahui bahwa terdapat beberapa variabel yang memiliki nilai koefisien terbesar. Variabel-variabel tersebut kemudian dicari korelasinya terhadap nilai emisi yang dihasilkan sehingga dapat diketahui seberapa besar efek dari masing-masing variabel tersebut dalam mempengaruhi nilai akhir dari emisi gas karbon dioksida di kota Surabaya. Variabel terbesar itu kemudian dicari korelasinya sehingga dapat diketahui seperti apa efek masing-masing variabel tersebut dalam mempengaruhi nilai prediksi emisi.

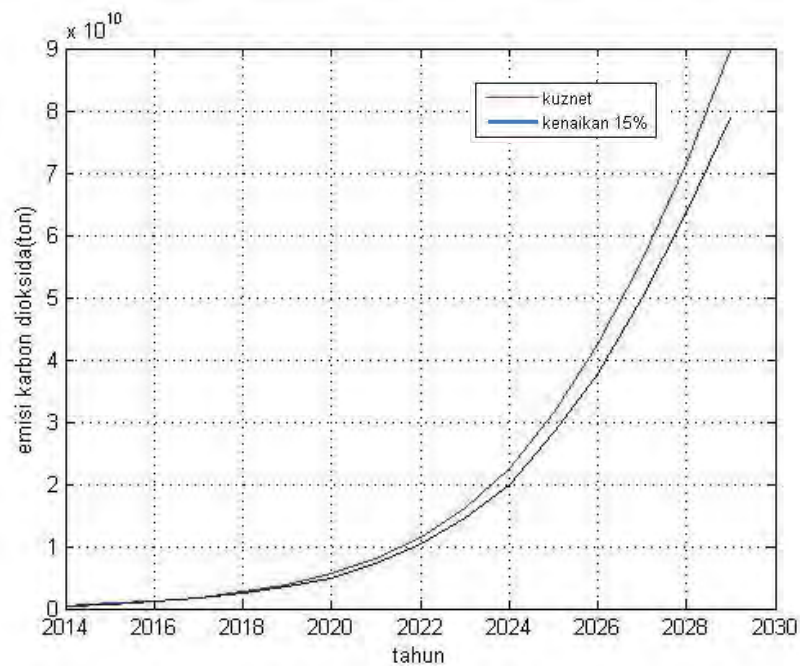
Variabel pertama yang dicari korelasinya adalah variabel PDB sektor pengolahan. Korelasi ini menggunakan variasi tiga kenaikan untuk PDB sektor pengolahan yaitu kenaikan sebesar 5%,10%, dan 15%. Korelasi ini dilakukan agar dapat diketahui seperti apa efek perubahan yang terjadi dari prediksi nilai emisi apabila salah satu variabel tersebut bersifat dinamik. Gambar dibawah ini menunjukkan perubahan nilai emisi yang terjadi akibat perubahan nilai salah satu variabel.



(a)



(b)



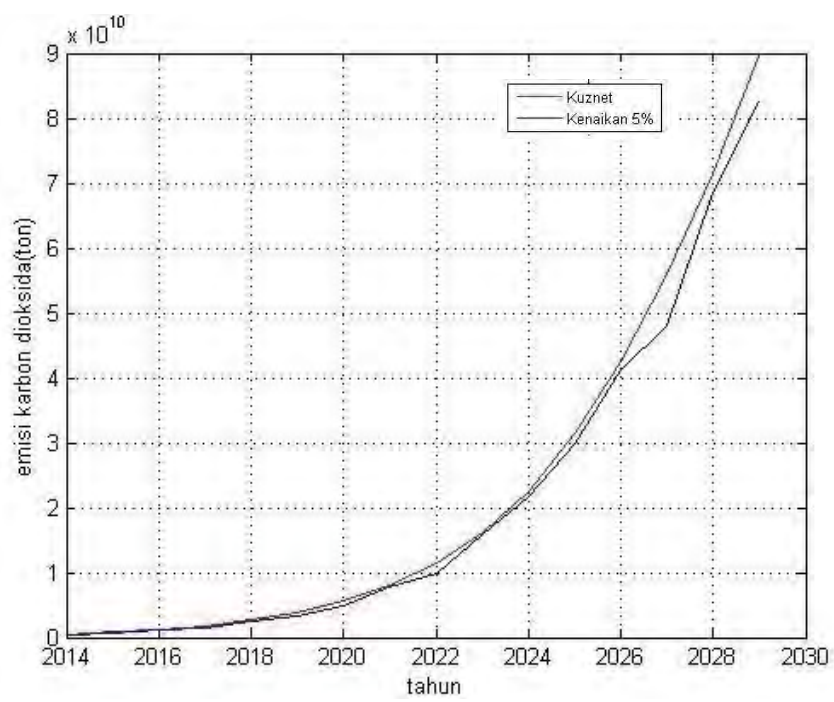
(c)

Gambar 4.8 Korelasi PDB Sektor Pengolahan

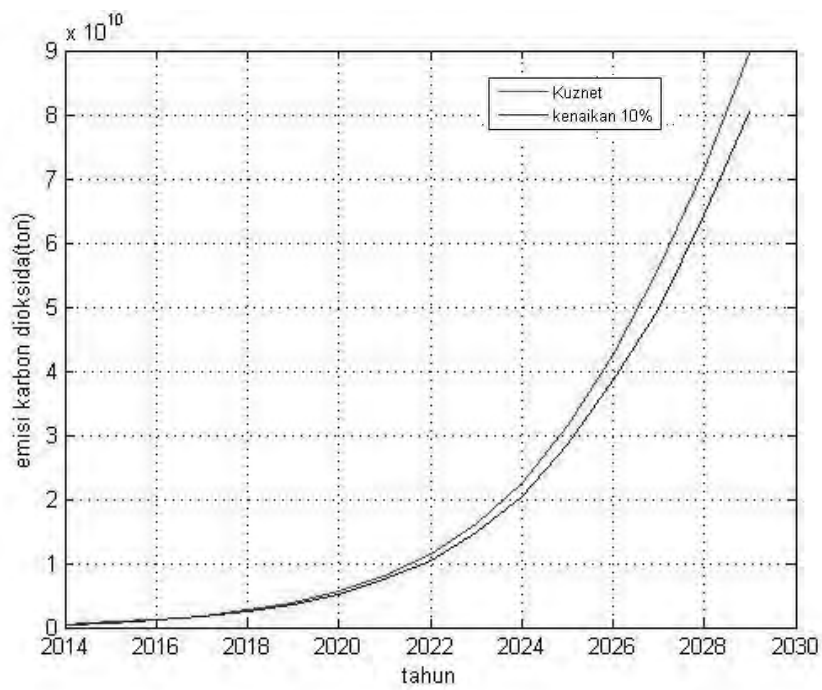
(a) Korelasi Kenaikan 5%. (b) Korelasi Kenaikan 10%.

(c) Korelasi Kenaikan 15%

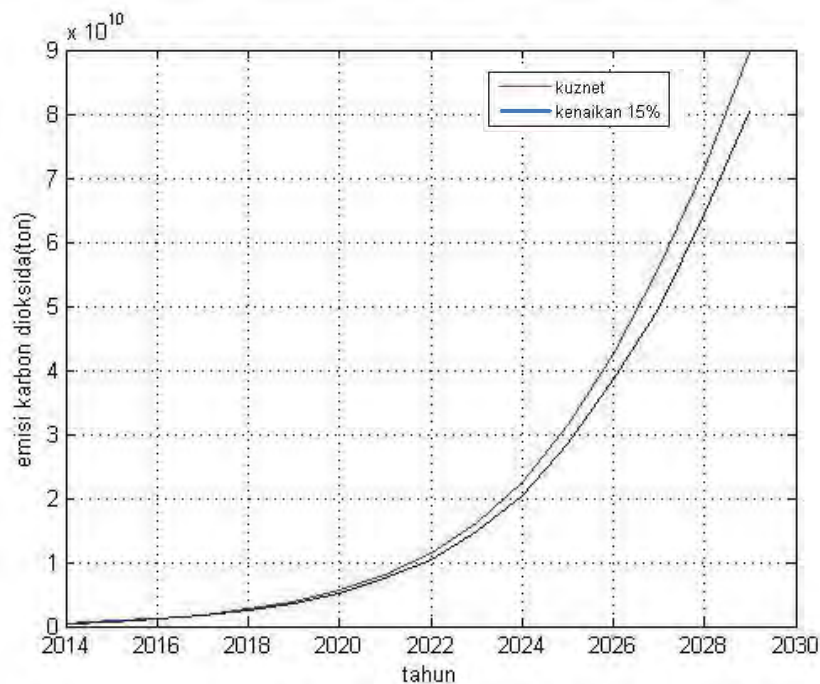
Berdasarkan perbandingan nilai yang dihasilkan seperti gambar 4.8, nilai korelasi rata-rata untuk variabel PDB sektor Pengolahan. yakni sebesar 12,43% dalam mempengaruhi nilai prediksi emisi. Korelasi selanjutnya yang dihitung adalah korelasi variabel PDB sektor perdagangan, hotel, dan restoran. Dimana pada gambar 4.9 dibawah ini, menunjukkan bahwa korelasi variabel PDB sektor perdagangan, hotel, dan restoran terhadap nilai total prediksi emisi yang dihasilkan adalah sebesar 8,51%.



(a)



(b)



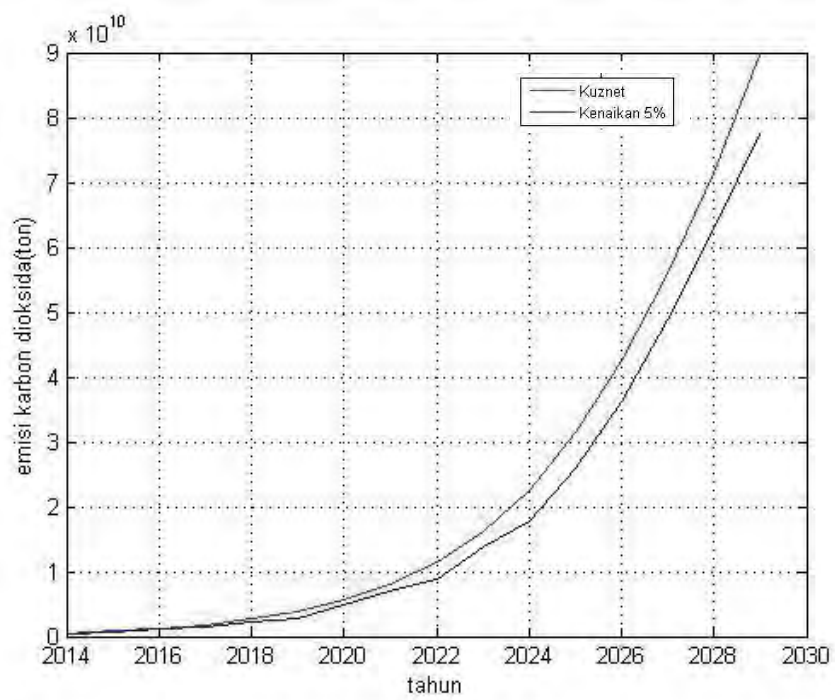
(c)

Gambar 4.9 Korelasi PDB Sektor Perdagangan, Hotel, Dan Restaurant

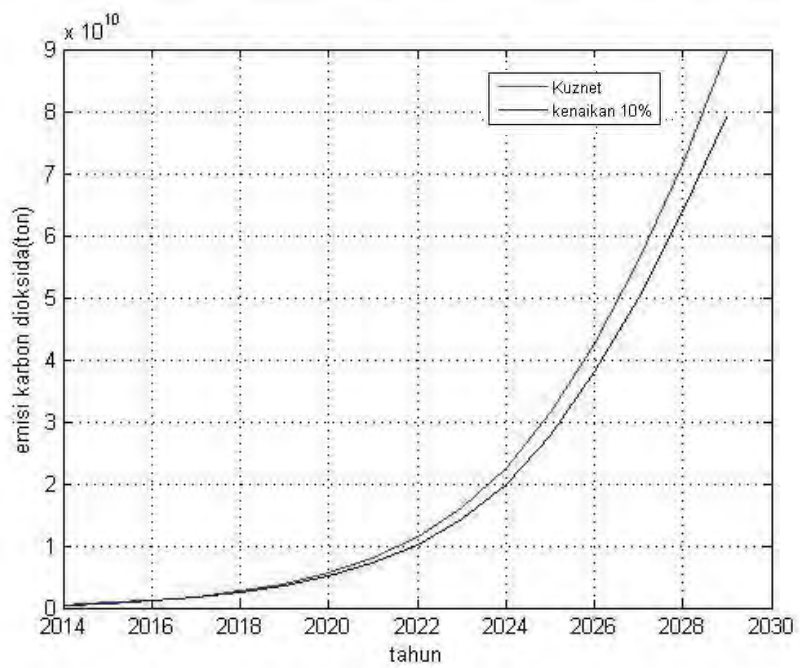
(a) Korelasi Kenaikan 5%. (b) Korelasi Kenaikan 10%.

(c) Korelasi Kenaikan 15%.

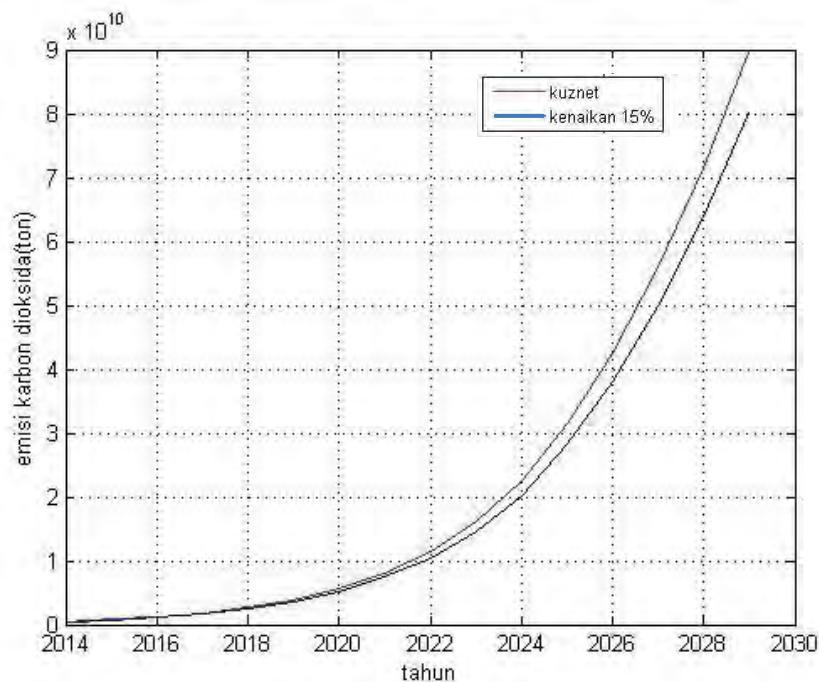
Kemudian variabel PDB ketiga terbesar yang dicari nilai korelasinya terhadap model prediksi emisi adalah PDB sektor pengangkutan dan komunikasi. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan dengan menjadikan variabel PDB sektor pengangkutan dan komunikasi menjadi dinamis maka didapatkan hasil korelasi terhadap hasil prediksi emisi gas karbon dioksida sebesar 12,03% seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10 dibawah ini.



(a)



(b)



(c)

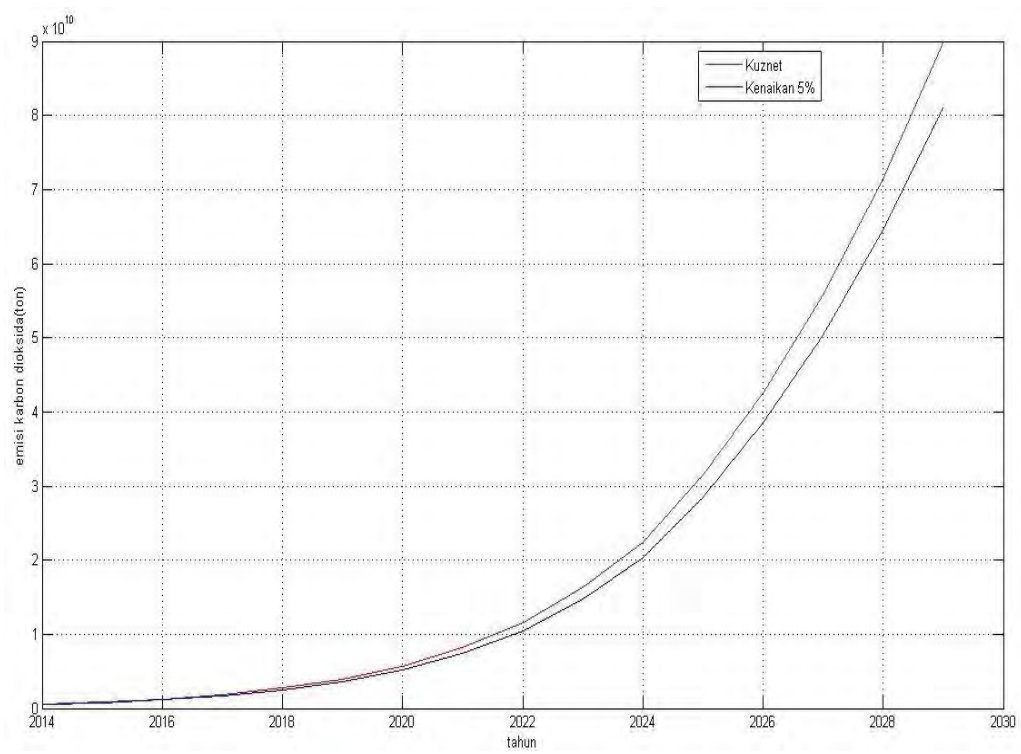
Gambar 4.10 Korelasi PDB Sektor Pengangkutan Dan Komunikasi

(a) Korelasi Kenaikan 5%. (b) Korelasi Kenaikan 10%.

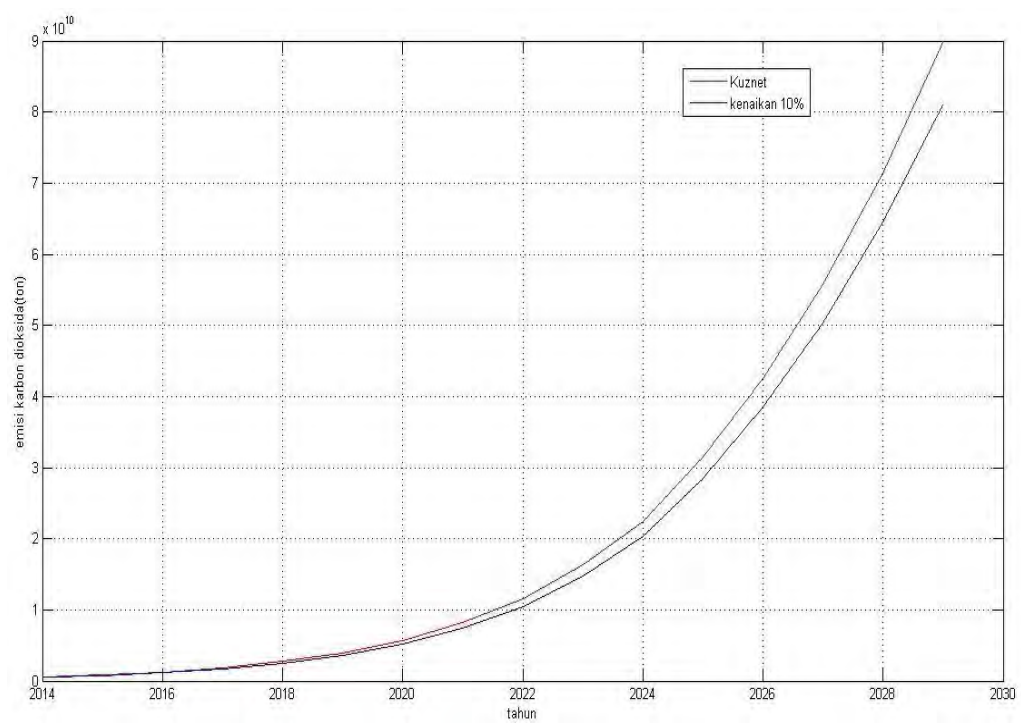
(c) Korelasi Kenaikan 15%.

Setelah variabel PDB yang dicari besar korelasinya terhadap nilai prediksi emisi. Kemudian variabel yang memproduksi gas karbon dioksida dari sektor rumah tangga, industri, dan transportasi juga dicari nilai korelasinya. Berdasarkan data yang didapatkan, diketahui bahwa penyumbang terbesar gas karbon dioksida berasal dari hasil penggunaan LPG dan Kendaraan bermotor roda dua.

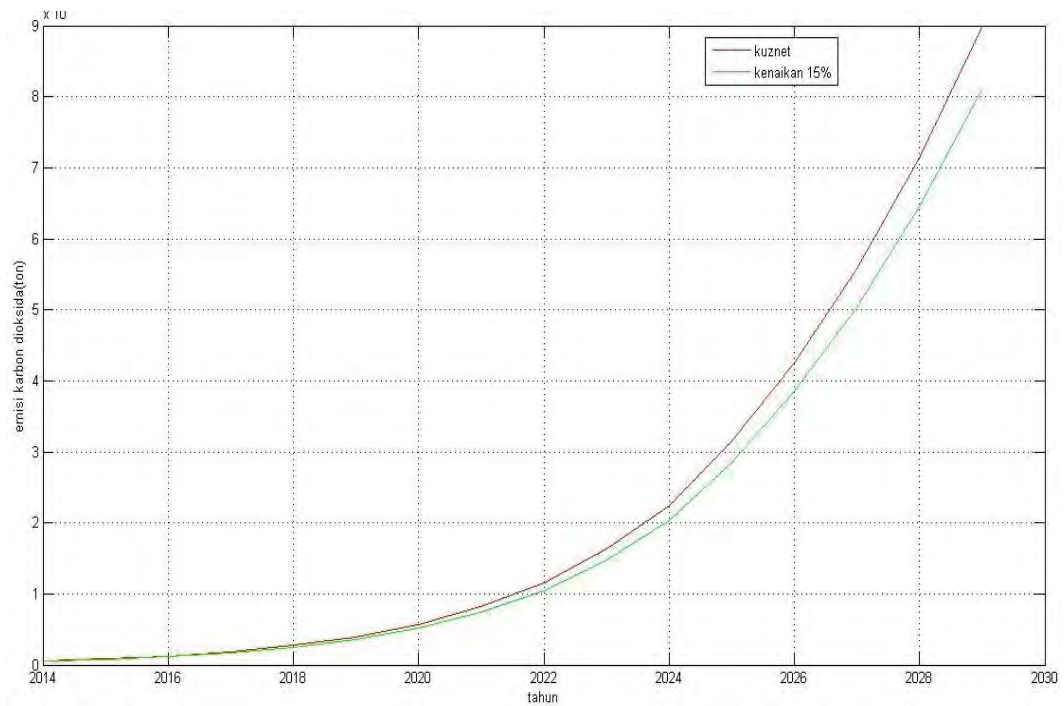
Variabel LPG tersebut dicari korelasinya terhadap hasil simulasi prediksi dengan menaikkan nilai variabel LPG dan variabel yang lainnya dikondisikan dalam keadaan statis sehingga bisa diketahui pengaruh perubahan nilai variabel LPG terhadap besarnya nilai emisi hasil prediksi yang telah didapatkan. Gambar 4.11 merupakan gambar korelasi variabel LPG terhadap nilai prediksi emisi.



(a)



(b)



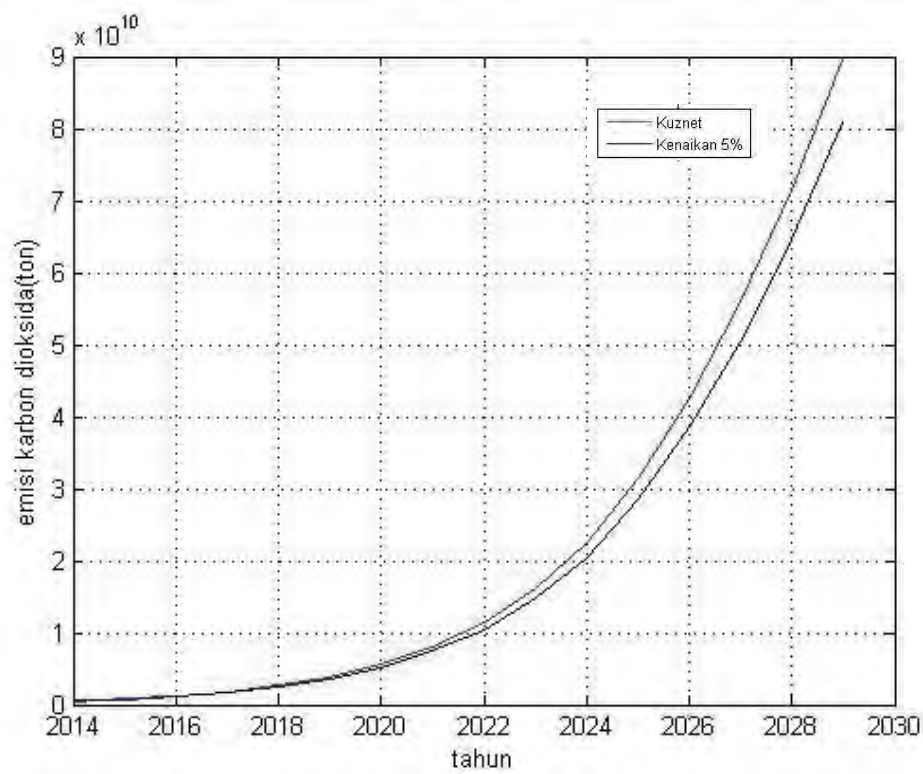
(c)

Gambar 4.11 Korelasi Variabel LPG

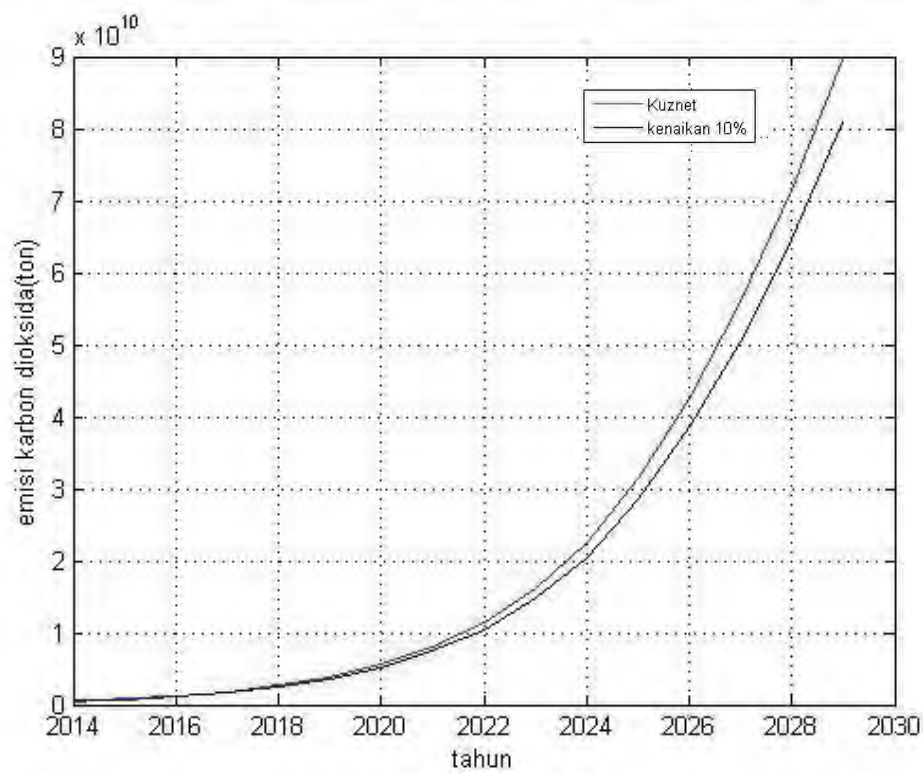
(a) Korelasi Kenaikan 5%. (b) Korelasi Kenaikan 10%.

(c) Korelasi Kenaikan 15%.

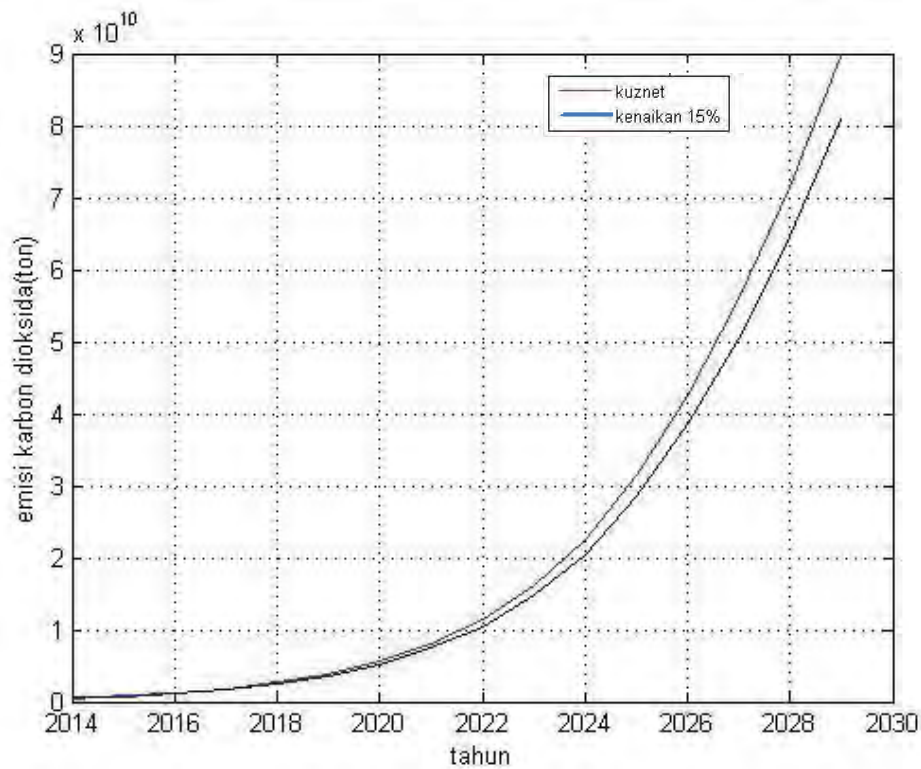
Dari hasil korelasi variabel LPG seperti pada gambar 4.11 diatas dapat diketahui bahwa nilai rata-rata korelasinya terhadap hasil simulasi prediksi emisi adalah sekitar 7,29%. Kemudian hal yang sama juga dilakukan pada variabel kendaraan roda dua dengan mencari nilai korelasinya terhadap nilai emisi. Hasil perhitungan korelasi dari variabel kendaraan roda dua terhadap nilai prediksi emisi karbon dioksida dapat dilihat pada gambar 4.12.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.12 Korelasi Variabel Kendaraan Roda Dua

(a) Korelasi Kenaikan 5%. (b) Korelasi Kenaikan 10%.

(c) Korelasi Kenaikan 15%.

Berdasarkan hasil korelasi diatas untuk variabel kendaraan roda dua diketahui bahwa perubahan nilai dari variabel tersebut dapat mempengaruhi nilai prediksi emisi gas karbon dioksida rata-rata sebesar 7,36%. Setelah diketahui semua hubungan dari masing masing variabel yang menjadi faktor pemicu pertumbuhan emisi gas karbon dioksida serta berdasarkan hasil prediksi dengan menggunakan metode EKC, didapatkan emisi karbon di kota Surabaya semakin tahun mengalami pertumbuhan yang cukup besar. Sehingga dibutuhkan suatu tindakan yang bertujuan untuk mengurangi besarnya emisi karbon yang terbentuk di Surabaya.

Salah satu hal yang dapat diandalkan untuk mampu mengirangi emisi tersebut adalah ruang terbuka hijau di Surabaya. Apabila luas RTH di kota Surabaya mengacu pada Undang Undang (UU) Nomor 26/2007 tentang penataan

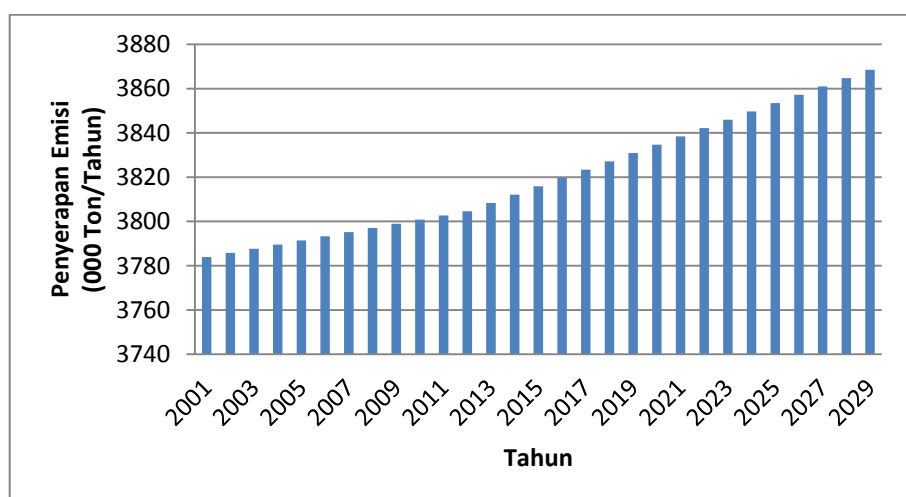
ruang, mensyaratkan RTH pada wilayah kota paling sedikit 30 persen dari luas wilayah kota. kemudian Undang undang tersebut diinterpretasikan kembali melalui Perda tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) kota Surabaya 2013 dan dicanangkan penetapan luas RTH sebesar 20 % merupakan RTH publik dan 10 % merupakan RTH privat dari total luas kota. Sehingga jika luas Surabaya mencapai 32.637 Ha, berarti luas RTH minimal seharusnya seluas 6.527,4 Ha dan maksimal hanya mampu menyerap emisi karbon sebesar 3.714.547,52 ton per tahun. Namun hingga triwulan I tahun 2014 ini Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang dimiliki kota Surabaya hanya sekitar 20,32 persen dari total luas wilayah kota Surabaya seperti yang ada pada tabel 4.2 dibawah ini dan diperkirakan hanya akan mampu bertambah luas sebanyak 0,02 % untuk setiap tahunnya maka diperkirakan besar RTH Surabaya akan mampu menyerap emisi karbon dioksida gambar 4.13.

Tabel 4.2 Tabel Pertumbuhan RTH kota Surabaya

tahun	luas RTH	% RTH
2001	6649.258	20.12
2002	6652.562	20.13
2003	6655.867	20.14
2004	6659.172	20.15
2005	6662.477	20.16
2006	6665.782	20.17
2007	6669.086	20.18
2008	6672.391	20.19
2009	6675.696	20.20
2010	6679.001	20.21
2011	6682.306	20.22
2012	6685.61	20.23
2013	6692.22	20.25

Sumber : BAPPEKO Pemerintah Kota Surabaya.

Berdasarkan data RTH pada tabel 4.2 diatas, maka dapat diketahui seberapa besar nilai kemampuan penyerapan dari RTH di kota Surabaya terhadap besarnya nilai emisi karbon dioksida yang terbentuk. Cara perhitungan penyerapan emisi oleh RTH dapat dilihat pada **lampiran E1**.

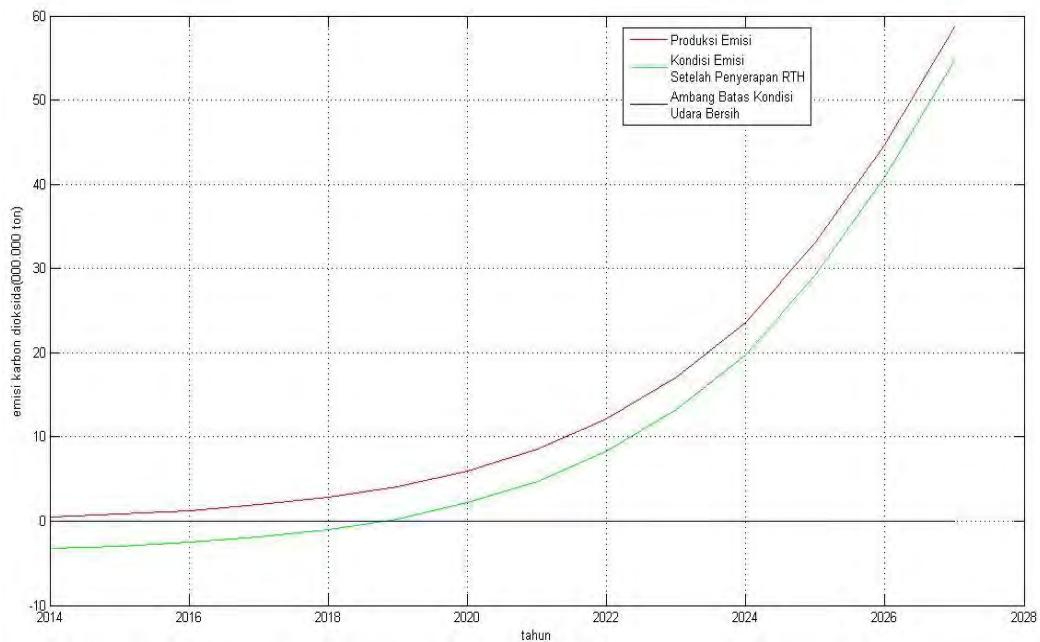


Gambar 4.13 Besar Penyerapan RTH tiap tahun

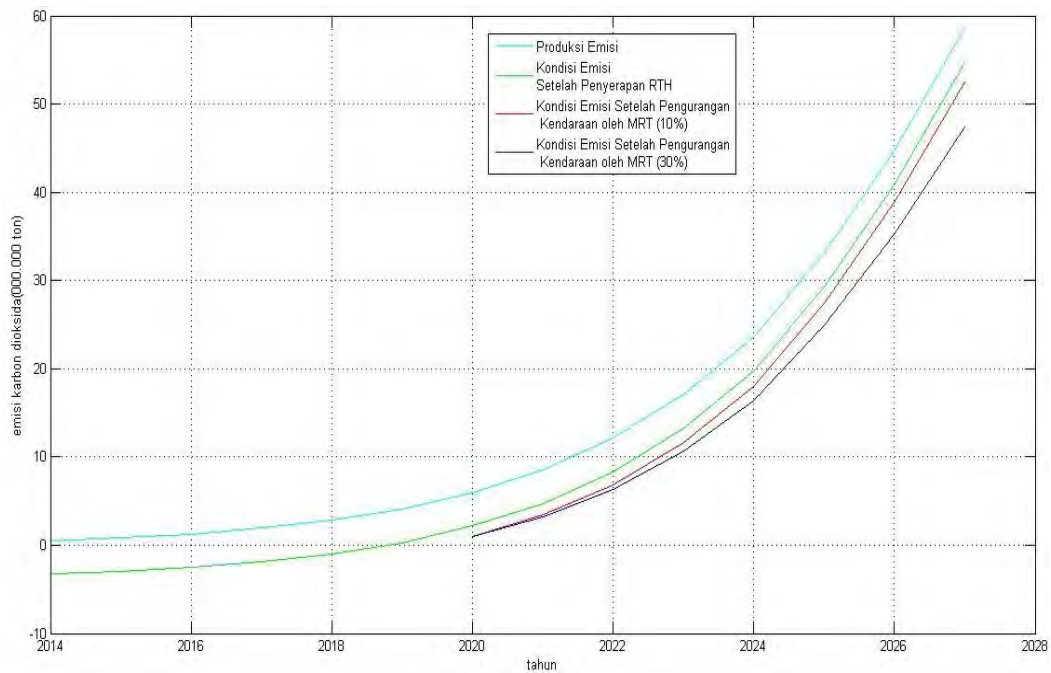
Kemudian nilai emisi yang dihasilkan dari prediksi metode *EKC* dikurangi dengan kemampuan dari RTH dalam menyerap emisi dapat dilihat pada gambar 4.14 seperti dibawah ini. Pada gambar tersebut dengan pertumbuhan emisi yang cukup signifikan dari tahun ke tahun. Namun pertumbuhan dari luas RTH yang terbilang minim mengakibatkan penyerapan emisi yang dapat dilakukan oleh RTH berada pada ambang batas penyerapan maksimum menjelang tahun 2019.

Hal ini menunjukkan bahwa jika mengandalkan kemampuan penyerapan RTH saja dalam menyerap emisi, berdasarkan perhitungan yang dilakukan terlihat kemampuan penyerapannya tidak sebanding dengan pertumbuhan produksi emisi yang ada di kota Surabaya. Sehingga dibutuhkan opsi tambahan dalam hal untuk mengurangi produksi emisi yang ada di Surabaya. Salah satunya adalah dengan merealisasikan pembangunan MRT (Suro Train dan Boyo Train) untuk mampu mengurangi jumlah kendaraan yang beredar di jalanan kota Surabaya.

Jika skenario kendaraan yang mampu dikurangi jika MRT ini diaplikasikan. Maka, diperkirakan MRT dapat mengurangi jumlah kendaraan bermotor di Surabaya sebanyak 10% sampai 30% dari total penumpang yang diproyeksikan menjadi penumpang dari MRT tersebut. Dimana jika pengguna kendaraan tersebut beralih menggunakan MRT maka emisi karbon dioksida yang dapat dikurangi sebanyak lebih dari 1 ton CO₂ tiap tahunnya (**lampiran E2**). Proyeksi penyerapan emisi karbon dioksida akibat dioperasikannya MRT dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.14 Proyeksi Penyerapan Emisi Oleh RTH Surabaya



Gambar 4.15 Proyeksi Penyerapan Emisi oleh RTH dan Pengurangan MRT

Berdasarkan gambar diatas ternyata dengan nilai emisi yang dihasilkan dan dikurangi dengan kemampuan penyerapan emisi oleh RTH ternyata kemampuan RTH dalam menyerap emisi berada pada masa kritis ketika menuju

tahun 2019. Sehingga dibutuhkan lagi suatu strategi tambahan untuk mengurangi nilai emisinya. Salah satu yang dapat dilakukan adalah pengurangan kendaraan jika MRT di Surabaya jadi dioperasikan pada tahun 2020. Berdasarkan Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa nilai penurunan emisi yang dihasilkan oleh pengurangan kendaraan oleh pengoperasian MRT ternyata menghasilkan nilai penurunan yang tidak terlalu signifikan.

Sehingga dari hasil perhitungan dan prediksi yang telah dilakukan diatas diketahui bahwa pengembangan RTH dan MRT saja tidak cukup untuk bisa mengurangi produksi emisi yang diperkirakan terjadi di kota Surabaya. Hal ini menjadikan pemberdayaan transportasi massal yang tidak menggunakan BBM sangat penting untuk segera dioperasikan agar dapat mengurangi jumlah kendaraan yang beredar di kota Surabaya sehingga dapat mengurangi emisi yang terbentuk dari sektor transportasi serta pembangunan dan penggunaan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan juga sangat penting untuk diterapkan di kota Surabaya. Apabila hal ini dapat diterapkan secara baik dan menyeluruh maka diperkirakan dapat mengurangi emisi gas karbon dioksida yang dihasilkan di Surabaya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN

Dari proses penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan terhadap hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Metode prediksi yang telah dilakukan menghasilkan nilai *error* masing-masing adalah sebesar 71,72% untuk metode ARIMA, 4,89% untuk metode Kuznet Curve, dan 6,81% untuk metode Grey Model.
2. RTH Surabaya seluas 30% dari luas total wilayah Surabaya sebesar 6.527,4 Hatersebut hanya mampu menyerap emisi karbon sebesar 3.714.547,52 ton per tahun. RTH tersebut hanya mampu menyerap emisi hingga tahun 2018 yakni sebesar 2.853.568.51 ton dan selanjutnya akan terjadi kelebihan emisi karbon dioksida yang tidak dapat terserap yang terjadi di Surabaya.
3. Korelasi variabel PDB sektor Perdagangan, Hotel, dan Restoran sebesar 8,51%, nilai korelasi rata-rata untuk variabel PDB sektor Pengolahan. yakni sebesar 12,43% , nilai korelasi PDB sektor Pengangkutan dan Komunikasi sebesar 12,03%, korelasi variabel LPG sebesar 7,29%, dan nilai korelasi variabel kendaraan roda sebesar 7,36% terhadap nilai prediksi emisi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Awal

A1. Data Emisi dan GDP Kota Surabaya

no	tahun	Emisi karbon (ton)	No	Tahun	GDP (000 USD)
1	2001	2440.36	1	2001	1104.692
2	2002	3688.41	2	2002	1320.455
3	2003	5379.67	3	2003	1536.218
4	2004	7634.84	4	2004	1751.982
5	2005	10604.75	5	2005	1967.746
6	2006	14477.71	6	2006	2183.509
7	2007	19488.47	7	2007	2399.273
8	2008	25929.42	8	2008	2615.036
9	2009	34164.33	9	2009	2830.8
10	2010	44645.48	10	2010	3088.091
11	2011	122505.62	11	2011	3165.261
12	2012	197698.30	12	2012	3306.273
13	2013	315235.15	13	2013	3447.285

Lampiran B. *Auto-Regressive Moving Average*

B1. *Script Pemrograman ARIMA*

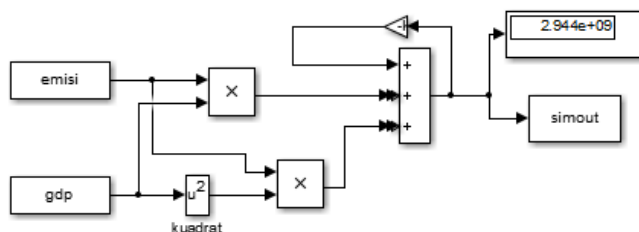
```
model = arima(1,0,1);  
fitEmisi =  
estimate(model,DataEmisi);  
PredEmisi =  
forecast(fitEmisi,20,'Y0',DataEmisi);  
  
x=years;  
y=result;  
plot(x,y,'b')  
grid  
xlabel('Tahun')  
ylabel('Emisi Karbon Dioksida(ton)')
```

B2. Hasil Prediksi *ARIMA*

no	Tahun	arima	no	Tahun	arima
1	2001	2440.36	16	2016	59121.69
2	2002	3688.41	17	2017	60836.64
3	2003	5379.67	18	2018	62551.60
4	2004	7634.84	19	2019	64266.55
5	2005	10604.75	20	2020	65981.50
6	2006	14477.71	21	2021	67696.45
7	2007	19488.47	22	2022	69411.40
8	2008	25929.42	23	2023	71126.35
9	2009	34164.33	24	2024	72841.30
10	2010	44645.48	25	2025	74556.25
11	2011	50546.93	26	2026	76271.20
12	2012	52261.88	27	2027	77986.14
13	2013	53976.84	28	2028	79701.09
14	2014	55691.79	29	2029	81416.04
15	2015	57406.74			

Lampiran C. *Environmental Kuznet Curve*

C1. Blok *Simulink Environmental Kuznet Curve*



C2. Hasil Prediksi Menggunakan *Environmental Kuznet Curve*

no	Tahun	kuznet	no	Tahun	kuznet
1	2001	2440.36	16	2016	1281194.07
2	2002	3688.41	17	2017	1920162.83
3	2003	5379.67	18	2018	2853568.51
4	2004	7634.84	19	2019	4108894.85
5	2005	10604.75	20	2020	6008634.88
6	2006	14477.71	21	2021	8556097.65
7	2007	19488.47	22	2022	12117267.33
8	2008	25929.42	23	2023	17107329.03
9	2009	34164.33	24	2024	23601210.85
10	2010	44645.48	25	2025	33104487.93
11	2011	123630.45	26	2026	44716368.69
12	2012	208111.15	27	2027	58640527.70
13	2013	342067.72	28	2028	75080639.53
14	2014	533918.88	29	2029	94240378.75
15	2015	844147.58			

Lampiran D. Grey Model

D1. Script Grey Model

```
%inisialisasi nilai emisi , gdp, dan teta untuk grey model
e = emisi;
g = gdp;
teta = 0.5;

%hitung awal besaran emisi
emisi_nol=emisi-emisi(1,1);
emisi_aksen=emisi/emisi(1,1);
emisi_aksen_nol=emisi_aksen-emisi_aksen(1,1);
S0=sum(emisi_nol)-emisi_nol(2,1)+(emisi_nol(2,1)/2);
S0_aksen=sum(emisi_aksen_nol)-
emisi_aksen_nol(2,1)+(emisi_aksen_nol(2,1)/2);
%hitung awal besaran gdp
gdp_nol=gdp-gdp(1,1);
gdp_aksen=gdp/gdp(1,1);
gdp_aksen_nol=gdp_aksen-gdp_aksen(1,1);
S1=sum(gdp_nol)-gdp_nol(2,1)+(gdp_nol(2,1)/2);
S1_aksen=sum(gdp_aksen_nol)-gdp_aksen_nol(2,1)+(gdp_aksen_nol(2,1)/2);
S1S2=S1-S0;
S1aksenS2aksen=-1*(S1_aksen-S0_aksen);
E1=(1+S0+S1)/(1+S0+S1+S1S2);
R1=(1+S0_aksen+S1_aksen)/(1+S0_aksen+S1_aksen+S1aksenS2aksen);
P1=(teta*E1)+((1-teta)*R1);
nilai=max(P1,[],1);
n=nilai;
n11=n+(n*r);
```

D2. Hasil Prediksi Menggunakan *Grey Model*

no	Tahun	grey	no	Tahun	grey
1	2001	2440.36	16	2016	945820.9
2	2002	3688.41	17	2017	1342674
3	2003	5379.67	18	2018	1906644
4	2004	7634.84	19	2019	2708051
5	2005	10604.75	20	2020	3846822
6	2006	14477.71	21	2021	5464949
7	2007	19488.47	22	2022	7764198
8	2008	25929.42	23	2023	10063464
9	2009	34164.33	24	2024	10389247
10	2010	44645.48	25	2025	14624124
11	2011	122622.3	26	2026	18996143
12	2012	168102.5	27	2027	25150710
13	2013	332226.7	28	2028	33145555
14	2014	470227.8	29	2029	34203174
15	2015	666605.9			

Lampiran E. Perhitungan Strategi Penyerapan Emisi

E1. Penyerapan oleh RTH

- **Data Pertumbuhan RTH Surabaya**

Tahun	Luas RTH	Prosentase
2001	6649.26	20.12
2002	6652.56	20.13
2003	6655.87	20.14
2004	6659.17	20.15
2005	6662.48	20.16
2006	6665.78	20.17
2007	6669.09	20.18
2008	6672.39	20.19
2009	6676.55	20.2
2010	6680.25	20.21
2011	6681.35	20.22
2012	6694.86	20.26
2013	6716.77	20.32

- **Perhitungan Penyerapan RTH**

Proses perhitungan RTH ini menggunakan cara :

Luas RTH x Faktor Penyerapan RTH

contoh:

$$6649.26 \text{ m}^2 \times 569 \text{ ton CO}_2/\text{tahun} = 3.783.893,022 \text{ ton CO}_2 \cdot \text{m}^2/\text{tahun}$$

- **Hasil Penyerapan Emisi RTH**

TAHUN	Luas RTH	% RTH	PENYERAPAN
2001	6649.26	20.12	3783893.022
2002	6652.56	20.13	3785773.685
2003	6655.87	20.14	3787654.348
2004	6659.17	20.15	3789535.01
2005	6662.48	20.16	3791415.673
2006	6665.78	20.17	3793296.335
2007	6669.09	20.18	3795176.998
2008	6672.39	20.19	3797057.66
2009	6676.55	20.20	3799424.309
2010	6680.25	20.21	3801529.868
2011	6681.35	20.22	3802155.845
2012	6694.86	20.26	3809843.98
2013	6716.77	20.32	3822312.304

E2. Penyerapan oleh MRT

Contoh:

kendaraan x faktor emisi

$$540 \times 2.47 \text{ ton CO}_2 = 1344.88 \text{ ton CO}_2$$

$$270 \times 5.16 \text{ ton CO}_2 = 1393.2 \text{ ton CO}_2$$

$$540 \times 4.15 \text{ ton CO}_2 = 2241 \text{ ton CO}_2$$

$$540 \times 42.12 \text{ ton CO}_2 = 22744.8 \text{ ton CO}_2$$

$$= 3195.504 \text{ ton CO}_2 \times 365 \text{ Hari}$$

$$= 1166358.96 \text{ ton CO}_2 / \text{Tahun}$$

- **Banyaknya Kendaraan Yang dapat dikurangi
(Proyeksi Pengurangan 10%)**

Roda Dua	Roda Empat	Angkot	Bus
540	270	72	4
594	297	79	4
653	327	87	5
719	359	96	5
791	395	105	6
870	435	116	6
957	478	128	7
1052	526	140	8

- **Banyaknya Kendaraan Yang dapat dikurangi
(Proyeksi Pengurangan 30%)**

Roda Dua	Roda Empat	Angkot	Bus
540	270	72	4
702	315	94	6
913	466	122	7
1187	594	159	9
1543	772	206	12
2005	1003	268	15
2607	1304	348	20
3389	1695	452	26

- **Hasil Penyerapan Emisi Oleh MRT**

Tahun	Proyeksi pengurangan kendaraan 10%	Delta Emisi	Proyeksi pengurangan kendaraan 30%	Delta Emisi
2020	1166358.96	1047098.922	1166358.96	1047098.922
2021	1276542.24	3482497.75	1461369.48	3297670.51
2022	1413776.4	6904552.607	1993951.2	6324377.807
2023	1547235	11759275.04	2569071.48	10737438.56
2024	1709014.68	18089496.52	3342877.32	16455633.88
2025	1872301.08	27421964.55	4334877.24	24959388.39
2026	2065345.2	38829517.22	5643060.6	35251801.82
2027	2275024.56	52535220.44	7334905.68	47475339.32

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adiastriratri, (2010). Kajian Mengenai Kemampuan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Dalam Menyerap Emisi Karbon di Surabaya. ITS, Surabaya.
- [2] Arini Fitri (2011). Studi Kontribusi Kegiatan Transportasi Emisi Karbon di Surabaya Timur. ITS, Surabaya.
- [3] Bin Ye (2012). Pricing Carbon Allowance Based on Marginal Abatement Cost. *Resources Science*, vol. 32(2), pp. 211-317.
- [4] Institute for Essential Services Reform,(2011), Potensi Penurunan Emisi Indonesia Melalui Perubahan Gaya Hidup Individu, Jakarta.
- [5] Jianpeng Zhou (2011). The Analysis on Carbon Emission Reduction effect of Closed-loop Supply chain Based on Government's Recovering subsidy. Fourth Int. Joint Conference on Computational Science and Optimization.
- [6] Liu Xiao, (2011). Prediction on Carbon Emissions Trend in Beijing Tianjing and Hebei Province. IEEE.978-1-61284-848-8/11/\$26.00 ©2011.
- [7] Lotfalipour M. Reza, (2013). Prediction of CO₂Emissions in Iran using Grey and ARIMA Models. *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 3, No. 3, 2013, pp.229-237.
- [8] Ni Lin, (2011). Study on Impacts of Population, Consumption and Technology on Carbon Emission in China (1990-2008) Based on STIRPAT Model. *Energy Policy*, 35(3), 1948-1955.
- [9] Perdana, W. Kusuma, (2011), Studi Kontribusi Kegiatan Transportasi Terhadap Emisi Karbon Di Surabaya Bagian Barat. ITS, Surabaya.
- [10] Ruohong Peng (2009). ICT Solutions Calculation Model for CO₂ Emission Reduction and Prediction on its Emission Reduction Potential. *Ecological Economics* 67, 41–54.
- [11] Setiawan Ricky, (2010). Kajian karbon *footprint* dari Industri di Surabaya. ITS, Surabaya.
- [12] The Kyoto Protocol,(1998). To The United Nations Framework Convention On Climate Change, Kyoto.

- [13] The Kyoto Protocol Reference,(2008). Manual On Accounting Of Emissions And Assigned Amount, Kyoto.
- [15] The Kyoto Protocol Mechanisms, (2010). International Emissions Trading Clean Development Mechanism Joint Implementation, Kyoto.
- [16] Xiaoqing Wang, (2010). A Carbon Capture and Distribution Network Design Problem for Carbon Emission Reduction and Utilization.Energy Policy 34, 1086–1083.
- [17] Xiaoqing Wang, (2012). A Review of Carbon Emission Management from the Perspective of Logistics Industry. Energy Policy 37, 413–423.
- [18] Xinwu Li (2012). The Effect of Demand Information on Carbon Emission in Low Carbon Green Supply Chain. Int. Conference on Management of e-Commerce and e-Government.
- [19] Hantoro Ridho, (2012). Laporan Low Carbon Society, Surabaya.

BIOGRAFI PENULIS



I am a Master Student of Engineering Physics GPA 3.66 (4 scale). Personal qualification includes : I am a hardworker and reliable man, have ability in management group of people, able to adapt in many of working situation, and accurate personality who can work as teamwork. In college life, I was belong to some campus activities and often become an organizing committee in such campus event. I studied about Energy Engineering and also Instrumentation and Control in Engineering Physics Department. I was born in Surabaya, June 5th 1990. I study in Elementary School at SDN Gubeng 1 / 204 Surabaya, Junior High School at SMPN 06 Surabaya, Senior High School at SMAN 07, Surabaya (IPA/ Nature Science), Collage at Engineering Physics Departement , Faculty of Industrial Technology, Institute Technology Sepuluh Nopember Surabaya for Bachelor and Magister program.